WISSENSCHAFTLICHE
FORSCHUNGSBERICHTE
NATURWISSENSCHAFTLICHE REIHE
BAND XIII

PHYSIKALISCH-CHEMISCHE MINERALOGIE UND PETROLOGIE

VON

WILHELM EITEL

DRESDEN UND LEIPZIG
VERLAG VON THEODOR STEINKOPFF

WISSENSCHAFTLICHE
FORSCHUNGSBERICHTE

WISSENSCHAFTLICHE FORSCHUNGSBERICHTE

NATURWISSENSCHAFTLICHE REIHE

HERAUSGEGEBEN VON
DR. RAPHAEL ED. LIESEGANG, FRANKFURT A. M.

BAND XIII

PHYSIKALISCH-CHEMISCHE MINERALOGIE UND PETROLOGIE

DRESDEN UND LEIPZIG
VERLAG VON THEODOR STEINKOPFF
1925

PHYSIKALISCH-CHEMISCHE
MINERALOGIE UND PETROLOGIE

DIE FORTSCHRITTE
IN DEN LETZTEN ZEHN JAHREN

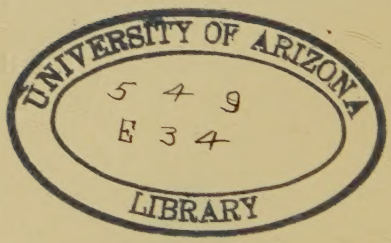
VON

DR. WILHELM EITEL

ORDENTLICHER PROFESSOR UND DIREKTOR
DES MINERALOGISCHEN INSTITUTS DER UNIVERSITÄT IN KÖNIGSBERG I. PR.

DRESDEN UND LEIPZIG
VERLAG VON THEODOR STEINKOPFF
1925

Alle Rechte vorbehalten



Buchdruckerei
Albert Hille
Dresden-N.

ZWECK UND ZIEL DER SAMMLUNG

Nur sehr wenigen ist es möglich, das Wichtigste aus der Buch- und Zeitschriftenliteratur ihres Gebietes auf Grund eines Studiums der Originale zu verfolgen. Selbst das Durcharbeiten der verschiedenen Zentralblätter erfordert nicht allein viel Zeit, sondern auch ein gutes Wahlvermögen, denn Spreu ist vom Weizen zu sondern. Eine Auswahl des Wichtigsten in gedrängter Form zu bieten, was In- und Ausland seit etwa 1914 in jedem einzelnen Zweige der Naturwissenschaften geleistet hat, ist Zweck und Ziel dieser „Wissenschaftlichen Forschungsberichte" (Naturwissenschaftliche Reihe).

Aber für gute Sammelreferate, bei welchen nicht etwa die Redaktionsschere die Hauptarbeit geleistet hat, und welche anderseits auch nicht in der Hauptsache aus Titelangaben bestehen, sind nicht leicht geeignete Verfasser zu finden, trotz des großen Nutzens, der dem Autor meist aus solch kritischer Bearbeitung des Fremden erwächst.

Erfreulicherweise hat sich dennoch eine Anzahl von Forschern bereit gefunden, dieses Werk auf ihrem Sondergebiet zu leisten; weitere werden folgen, so daß in Kürze ein Gesamtüberblick über die Fortschritte der Naturwissenschaften im letzten Jahrzehnt vorliegen wird.

Lehrbücher sollen hierdurch nicht ersetzt, sondern ergänzt werden. Die „Wissenschaftlichen Forschungsberichte" lassen auch nicht die persönliche Meinung des Verfassers in den Vordergrund treten, sondern sie berichten von den sich oft widerstreitenden Meinungen verschiedener Forscher.

Eine entsprechende Reihe über die technischen Fortschritte („Fortschritte der chem. Technologie in Einzeldarstellungen"), herausgegeben von Prof. Dr. B. Rassow, erscheint im gleichen Verlag.

Der Verleger:
Theodor Steinkopff.

Der Herausgeber:
Raphael Ed. Liesegang.

56501

VORWORT

Das vorliegende Büchlein ist gedacht als das erste Heft einer kleinen Serie von Forschungsberichten, welche die Entwicklung der Mineralogie und allgemeinen Petrologie zusammenfassen sollen. Es war in der Absicht des Unterzeichneten, schon in dem ersten Heft gemeinsam mit Herrn E. Schiebold eine Darstellung der neuesten Forschungen auf dem Gebiet der physikalisch-chemischen Mineralogie unter besonderer Berücksichtigung der Gitterstudien zu geben. Leider hat die starke Inanspruchnahme des einen von uns es verhindert, äußerlich diese Absicht durch eine gemeinsame Herausgabe dieses Heftes zu kennzeichnen; es erschien darum dem Unterzeichneten für vorteilhaft, zunächst einen Bericht über die rein physikalisch-chemische Forschung innerhalb der mineralogischen Disziplin zu entwerfen; es soll dann in Kurzem der Bericht des Herrn Schiebold über die Forschungen der modernen Raumgittertheorie erscheinen, und zwar nunmehr als selbständiges Heft.

Danach ist beabsichtigt, ein weiteres Heft herauszugeben, in welchem die „Fortschritte der physikalischen Kristallographie" dargestellt werden sollen, und endlich ein Heft über die „Entwicklung der speziellen physikalisch-chemischen Petrographie" im vergangenen Jahrzehnt.

Königsberg i. Pr., im Juli 1925.

Wilhelm Eitel.

Inhalts-Verzeichnis

I. Allgemeiner Teil

Seite

Prinzipien der Gleichgewichtslehre 1
Die Modifikationsänderungen 14
Kalorische Eigenschaften der Mineralien 17
Zweistoffsysteme 19
Dreistoffsysteme 25
Vierstoffsysteme und Mehrstoffsysteme 26
Die Komponenten der Magmen und der Erdkruste 27

II. Spezieller Teil

Die Kieselsäuremineralien 32
Korund 36 — Hämatit 36 — Periklas usw. 37 — Elemente 37 — Diamant, Graphit 38 — Die Aluminiumsilikate 42 — Eisensilikate 43 — Magnesiumsilikate 44 Calciumsilikate 44 — Systeme SiO_2–BaO und SiO_2–SrO 45 System SiO_2–MnO usw. 46 — Aluminate 47 — Eisenoxyde Fe_2O_3–FeO 48 — Calciumferrite 51 — Eisentitanate 51 — Calciumphosphate 51 — Meteoreisen 52 — Magnetkies 52 — Rhabdit, Schreibersit 53
Dreistoffsysteme 53
Vierstoffsysteme 63
Mineralische Fünfstoffsysteme 67
Polynäre Mineralien 69
1. Die Pyroxenmineralien 69 — 2. Die Amphibolgruppe 72 — 3. Die Glimmergruppe 75 — 4. Die Granatgruppe 76 — 5. Die Turmalingruppe 76 — 6. Die Epidotgruppe 77 — 7. Die Melilithgruppe 77 — 8. Die Cancrinitgruppe und die Sodalithe 77 — 9. Die Skapolithgruppe 78 10. Polynäre Systeme von Silikaten mit Sulfiden usw. 79 — 11. Polynäre Auffassung der Apatitmineralien 80
Die magmatischen Gase 80
1. Allgemeines 80 — 2. Löslichkeit von Gasen in Schmelzen 81 — 3. Gasgleichgewichte 83
Pegmatitisch-pyrohydatogen-hydrothermale Prozesse 87
1. Allgemeines 87 — 2. Spezielles 91 — 3. Die Sulfide, Arsenide usw. 92
Die Hydrothermalsynthese 97
Die Zeolithe 104
Die Verwitterung 109
Die Kolloid-Mineralogie 112
Kristallisation aus wässerigen Lösungen (Ausscheidungs-Sedimentation) . 122
Das Calciumkarbonat 127
Dolomit 130
Mischkristalle der Karbonate von Ca, Mg, Fe, Mn 131
Die Salzlagerstätten 132
Die Gesteinsmetamorphose 139
1. Die Thermo-Metamorphose der Kalk-(Dolomit-)Tonschiefer und -Sandgesteine 144 — 2. Thermometamorphose und Reduktion von Sulfiden 146 3. Kontaktmetamorphose mit Stofftransport 147
Die kristallinen Schiefer 150
Einseitiger Druck und seine Wirkungen 151
Autorenregister 159
Sachregister 167
Register der Mineralien, Gesteine und Systeme 172

Allgemeiner Teil.

Prinzipien der Gleichgewichtslehre.

Die für die physikalisch-chemische Behandlung der minero- und petrogenetischen Probleme so wichtige Gleichgewichtslehre ist in neuerer Zeit verschiedentlich gefördert worden. So ist in erster Linie das Buch von *G. Tammann,* Die Aggregatzustände (Leipzig 1922; 2. Aufl. 1924), sowie dessen Lehrbuch der heterogenen Gleichgewichte (Braunschweig 1924) eine wichtige Erweiterung des *Bakhuis-Roozeboom*'schen Werkes geworden, zugleich das erstere eine höchst wertvolle Zusammenfassung der wesentlichsten Forschungen des genannten Meisters der physikalischen Chemie.

Eine vereinfachte Behandlung der Gesetze des chemischen Gleichgewichts auf der von *W. Gibbs* gegebenen Grundlage haben *E. D. Williamson* und *G. W. Morey*[1]) entworfen. Höchst beachtenswert sind auch die seit 1915[2]) gegebenen Erörterungen und allgemeinen Ableitungen über die mono- und divarianten Gleichgewichte, welche *F. A. H. Schreinemakers* verfaßte.

Die Mineralschmelzpunkte behandelte ein zusammenfassender Aufsatz von *A. L. Day*[3]) noch bis 1914. Bemerkenswert ist die von ihm mitgeteilte Beobachtung[4]), daß ein äußerst feinkörniger Niederschlag von Silber schon etwa 300° unterhalb seines normalen Schmelzpunkts (bei ca. 650° also bereits) zu fließen beginnt; vgl. dazu die Arbeit von *F. Meißner*[5]).

Bei den Angaben der Schmelzpunkte der Alkalisilikate ist besonders die Flüchtigkeit der Alkalien keineswegs zu vernachlässigen; nach *H. Leitmeier*[6]) ist allerdings der praktische Einfluß dieser Verluste nicht sehr erheblich.

Die statische Methode der Schmelzpunktsbestimmung wurde von den Forschern des Geophysikalischen Instituts der Carnegie Institution in Washington auch neuerdings mit größtem Erfolge angewandt; die weitaus größte Zahl der im speziellen Teil gegebenen Schmelzpunkte von Silikaten

---

[1]) E. D. Williamson u. G. W. Morey, Journ. Amer. Chem. Soc. **40**, 49—59 (1918).

[2]) F. A. H. Schreinemakers in den Proceed. of the Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. seit Bd. 18.

[3]) A. L. Day, Fortschr. d. Min. **4**, 115 ff. (1914).

[4]) A. L. Day, loc. cit. 144.

[5]) F. Meißner, Zeitschr. f. anorg. Chem. **110**, 169—186 (1920).

[6]) H. Leitmeier, loc. cit. **105**, 69 (1919).

sind mit ihrer Hilfe gewonnen. Eine wertvolle kritische Vergleichung der Ergebnisse der Abschreckungsmethode und der dynamischen Methode der Erhitzungskurven führte *G. W. Morey*[1]) durch; der (statisch bestimmte) wirkliche Schmelzpunkt liegt stets an dem steil ansteigenden Ende des Wärmeeffekts auf der Erhitzungskurve. Die genaue Angabe eines Schmelzpunkts ist auf den Erhitzungskurven überhaupt kaum möglich; gewöhnlich findet man zu niedrige Werte mit der letzteren (bei Na_2SiO_3 z. B. ca. 2 Proz. zu tief). Eine ausgezeichnete Zusammenstellung genauester Standardwerte von fixen Schmelzpunkten findet man bei *H. S. Roberts*[2]); vgl. auch die älteren Angaben über die Schmelzpunkte synthetischer Silikate bei *F. M. Jaeger* und *H. S. van Klooster*[3]).

Die Abkühlungskurven werden nur bei Metallen und metallartigen Körpern verwendet; über ihre Theorie siehe *H. Hanemann*[4]). Eine direkte Methode zur Schmelzpunktsbestimmung (bei niedrig schmelzenden Stoffen) in Kapillaren hat *L. H. Borgström*[5]) angegeben.

Ueber die Temperaturmessung ist zu berichten, daß *Neumann*[6]) ein wohlfeiles Element aus Nickel-Chromnickellegierung angegeben hat, welches für nicht sehr hohe Temperaturen bereits ausreichen kann. *F. M. Jaeger* und *H. S. van Klooster*[7]) haben bei der Schmelzpunktsbestimmung von sehr flüchtigen Lithiumverbindungen eine einfache, „Thermobecher" genannte Vorrichtung benutzt, bei der sie an das zur Aufnahme der Substanz selbst benötigte Tiegelchen aus reinem Platin einen Pt-Rh-Draht anlöteten und so es zu einem Teil des Thermoelementes selbst machten. *F. H. Smyth* und *L. H. Adams*[8]) benutzten ein ganz ähnliches Prinzip bei ihren Messungen im System $CaO - CO_2$ bei sehr hohen Gasdrucken. — Die thermoelektrischen Apparate werden in Deutschland bei der physikalisch-technischen Reichsanstalt nach den von *E. Warburg*[9]) dargelegten Kriterien geprüft; über die Fundamentalskala des gleichen Instituts siehe *W. Holborn*[10]). Vgl. auch die ausführlichen Erörterungen von *A. L. Day* und *R. B. Sosman* über die thermodynamischen Grundprinzipien der absoluten Temperaturskalen im „Dictionary of applied physics" (London 1922, vol. I, 36 S.). Als Grundlage für Messungen mit dem *Lechatelier*'schen Element gilt die von *L. H. Adams*[11]) angegebene Tabelle in Mikrovolt und

---

[1]) G. W. Morey, Journ. Wash. Acad. of Sci. **13**, 326—329 (1923).
[2]) H. S. Roberts, Phys. Rev. **23**, 386—395 (1924).
[3]) F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **24**, 921 (1915).
[4]) H. Hanemann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **90**, 67 (1914).
[5]) L. H. Borgström, Oefvers. af Finska Vetensk. Soc. Förhdl. **57**, A, Nr. 24 (1914/5).
[6]) Neumann, Chem.-Ztg. **41**, 288 (1919).
[7]) F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **22**, 900 (1914).
[8]) F. H. Smyth u. L. H. Adams, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 1173ff. (1923).
[9]) E. Warburg, Ann. d. Phys. [4] **48**, 1034 (1916); Ber. d. D. Chem. Ges. **49**, 474 (1916).
[10]) W. Holborn, Zeitschr. f. Elektrochem. **21**, 559ff. (1915).
[11]) L. H. Adams, Journ. Amer. Chem. Soc. **36**, 72 (1914); siehe auch Bull. Amer. Inst. Min. Metall. Engin. **153**, 2111 (1919).

Zentigraden. Der früher von *Adams* zu $1549{,}5 \pm 2^0$ angegebene Schmelzpunkt des Palladiums ist neuerdings zu $1551{,}5^0$ angegeben. Für NaCl findet *H. S. Roberts*[1]) die genaue Zahl $800{,}4 \pm 0{,}5^0$ (= 7335 Mikrovolt), für Na_2SO_4: $884{,}7 \pm 0{,}5^0$. Dort werden auch Methoden zur genauen Bestimmung des Schmelzpunkts der Edelmetalle angegeben[2]). Neuerdings werden „normierte" Metalle besonderen Reinheitsgrades in den Handel gebracht[3]).

Neuere Verbesserungen am Universal-Potentiometer von *W. P. White*[4]).

Daß bei der Bestimmung der hohen Temperaturen mit Hilfe des optischen Pyrometers die Veränderlichkeit der Strahlungsemission mit der Orientierung eines anisotropen Strahles nicht vernachlässigt werden darf, haben die Versuche von *F. M. Jaeger* und *A. Simek*[5]) überzeugend erwiesen. Ueber die Messung sehr hoher Temperaturen siehe den Bericht von *F. Henning*[6]).

Von neueren Ofenkonstruktionen ist besonders neuerdings der nach einem „Kaskadenprinzip" gebaute Widerstandsofen mit Platin- und 20prozentiger Pt-Rh-Wicklung bemerkenswert[7]), mit welchem sich mehrere Stunden lang Temperaturen bis 1720^0 sicher einstellen lassen[8]). Einen sehr genauen Temperaturregulator für elektrische Oefen gab *H. S. Roberts* an[9]).

Wichtig ist auch der Fortschritt auf dem Gebiete der Konstruktionen von Oefen für hohe Temperaturen und hohe Gasdrucke zugleich; so hat *O. Ruff*[10]) eine schwere, bis zu Drucken von 3000 Atm. verwendbare Stahlapparatur, bestehend aus Bombe, hydraulischer Presse und den nötigen Pumpen, Akkumulatoren, Multiplikator usw. geschaffen, mit der er die Synthese des Diamanten versuchte. Im wesentlichen dieselbe Konstruktion gaben *F. H. Smyth* und *L. H. Adams*[11]) an, bei welcher bis 2000 kg/qcm gegangen werden kann und das System $CaO\text{-}CO_2$ untersucht wurde. Das Verfahren der Schmelzpunktsbestimmung ist hier naturgemäß auf die dynamische Methode beschränkt. Jedenfalls bedeuten beide Apparate einen sehr wesentlichen Fortschritt, seitdem *H. E. Boeke* (1912) das Prinzip der Druckbomben in die quantitative Synthese von Mineralien eingeführt hat. Einen einfachen Druckofen für niedrige Gasdrucke gab auch *E. Jänecke*[12])

---

[1]) H. S. Roberts, Phys. Rev. **23**, 386—395 (1924).
[2]) Siehe auch Gazz. chim. ital. **45**, II., 424 (1915).
[3]) Vgl. F. Mylius, Zeitschr. f. Elektrochem. **23**, 152 (1916).
[4]) W. P. White, siehe Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 307 (1916); **46**, 610 (1918).
[5]) F. M. Jaeger u. A. Simek, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **22**, 762 (1914).
[6]) F. Henning, Zeitschr. f. Elektrochem. **30**, 310—318 (1924).
[7]) Siehe J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **46**, 417 (1918).
[8]) Vgl. auch N. L. Bowen u. J. W. Greig, Journ. Amer. Ceram. Soc. **7**, 238—254 (1924).
[9]) H. S. Roberts, Journ. Wash. Acad. Sci. **11**, 401—409 (1921).
[10]) O. Ruff, Zeitschr. f. anorg. Chem. **99**, 90—100 (1917).
[11]) F. H. Smyth u. L. H. Adams, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 1167 bis 1184 (1923).
[12]) E. Jänecke, Zeitschr. f. phys. Chem. **90**, 257 (1915).

an. Ueber die Messung hoher Drucke mit Hilfe eines Widerstandsdrahtes siehe *F. Kohlrausch*[1]).

Ueber Vakuumöfen nach dem Kurzschlußprinzip siehe das ausführliche Referat von *Birnbräuer*[2]); vgl. auch eine neuere Konstruktion von *P. Lebeau* und *M. Picon*[3]). Vervollkommnete *Tammann*'sche Kurzschlußöfen beschrieb *E. Löwenstein*[4]). Ferner konstruierten *E. Tiede* und *A. Schleede*[5]) einen Kurzschlußofen, bis 150 Atm. Druck und 2000° verwendbar, mit dem sie die Sulfide ZnS, CdS usw. erschmolzen.

Ueber den Einfluß des Druckes auf den Schmelzpunkt und das p-t-Zustandsdiagramm der Einstoffsysteme siehe *G. Tammann*[6]), besonders über kritische Erscheinungen usw. Der von *P. W. Bridgman*[7]) gefundene Fall im System CO_2, daß oberhalb 5800 Atm. der kritische Punkt (+31°) überschritten wird, führt zu der Folgerung, daß bei noch höheren Drucken direkt das Gas CO_2 in den Kristall CO_2 übergeführt werden kann[8]).

Ueber die Ungleichgewichte wie Ueberhitzung, Unterkühlung, glasige Verfestigung usw. siehe *Tammann*[9]); dort auch eingehende Ausführungen über die Kristallisationsfähigkeit und ihre Faktoren[10]). Ueber die Erzwingung spontaner Kristallisation bei stark zu glasigen Zuständen neigenden Substanzen siehe *Tammann*[11]); ferner *J. Ponomareff*[12]). Einen eigenartigen Versuch, die Kristallisationsgeschwindigkeit von Metallen zu messen, siehe bei *J. Czochralski*[13]); dieses Verfahren hat zu wesentlichen Erfolgen der neueren Strukturuntersuchung an Metallen geführt, da man nach ihm leicht größere einheitliche Kristalle von ihnen gewinnen kann[14]).

Für das Kristallwachstum aus unterkühlten Schmelzen sind die von *R. Nacken*[15]) angestellten Versuche der Temperaturmessung in ihrer unmittelbaren Umgebung von großer Wichtigkeit; die Kristallisationsgeschwindigkeit ist nach *Nacken*[16]) wirklich für einzelne Flächen verschieden, und nimmt stark mit abnehmender Unterkühlung zu. Es entstehen z. B. bei

---

[1]) F. Kohlrausch, Lehrb. d. prakt. Phys., 12. Aufl. 137 (1914).
[2]) Birnbräuer, Chem.-Zeitg. **38**, 151 (1914).
[3]) P. Lebeau u. M. Picon, Compt. rend. **178**, 1151—1153 (1924).
[4]) E. Löwenstein, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 283.
[5]) E. Tiede u. A. Schleede, Ber. d. Deutsch. chem. Ges. **53**, 1721 (1920); Centr.-Bl. f. Min. 1921, 154—158.
[6]) G. Tammann, Lehrb. d. heterog. Gleichgew. 1924; Die Aggregatzustände. 1922, 26 ff.
[7]) P. W. Bridgman, Phys. Rev. **3**, 126, 153 (1914).
[8]) G. Tammann, loc. cit. S. 38.
[9]) G. Tammann, loc. cit. 1922, 242—272.
[10]) Besonders G. Tammann, loc. cit. S. 223 ff.; siehe auch P. Othmer, Zeitschr. f. anorg. Chem. **91**, 209 (1914); K. Schaum, loc. cit. **120**, 241—260 (1922).
[11]) G. Tammann, loc. cit. **87**, 248—252 (1914).
[12]) J. Ponomareff, loc. cit. **89**, 383 f. (1914).
[13]) J. Czochralski, Zeitschr. f. phys. Chem. **92**, 219 (1918).
[14]) Vgl. E. v. Gomperz, Zeitschr. f. Phys. **8**, 184 (1922); M. Polanyi, loc. cit. **12**, 687, über die Röntgenstrukturen.
[15]) R. Nacken, N. Jahrb. f. Min. 1915, II., 145.
[16]) R. Nacken, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 192.

organischen Stoffen halbkugelige Gebilde, welche sich zu Polyederhälften entwickeln. *R. Nacken* hat das Prinzip eines derartigen Unterkühlungswachstums zur Konstruktion eines Kristallzuchtapparates verwendet[1]). Ueber das Wachstum der Kristalle in röhrenförmigen Hohlräumen siehe speziell *R. Groß* und *H. Möller*[2]). Die Abhängigkeit der Form der in Schmelzen wachsenden Kristalle von der linearen Kristallisationsgeschwindigkeit behandelte *G. Tammann*[3]). Wie *R. Nacken* (s. o.) das Auftreten verrundeter, ellipsoidischer Kristallwachstumsformen in Abhängigkeit vom Wärmestrom bei der Abkühlung der Schmelze beobachtete, so machte auch *C. H. Desch*[4]) interessante Angaben über die Schaumstrukturen (Fig. 1) in gegossenen Metallen, welche Rückschlüsse auf die Oberflächenspannung erlauben: beim scharf kristallisierenden Sb ist diese wohl gering, bei dem in verrundeten Kristalliten sich ausscheidenden Kupfer aber hoch (siehe auch die plastischen Kristalle von Ag, Au usw.).

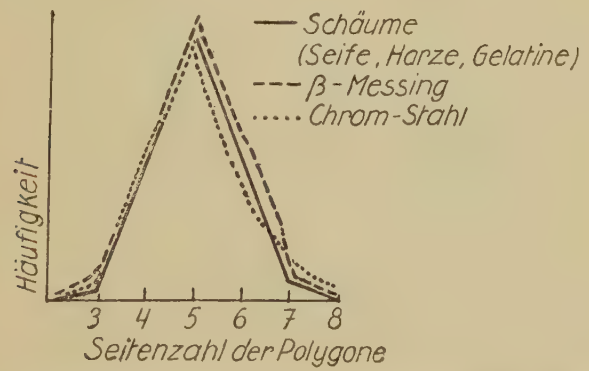


Fig. 1 Seitenzahl der Polygone der Kristalle in Aggregaten (nach Desch)

Die Impfschwelle, also die geringste Größe der noch impfend auf unterkühlte Schmelzen wirkenden Kristallbruchstücke hatte *Wi. Ostwald* (1897) zu etwa 10^{-11} ccm gefunden; vgl. dazu *A. Johnsen*[5]). Für das bei Erhöhung der Temperatur freiwillig einsetzende und der Entglasung unterkühlter Schmelzen ähnliche Verhalten der sogenannten pyrognomischen Mineralien wie Gadolinit usw. siehe die eingehenden Ausführungen von *O. Mügge*[6]), wo insbesondere auch der Zusammenhang derartiger

---

[1]) R. Nacken, Zeitschr. f. Instrumentenkd. **36**, 18 ff. (1916).

[2]) R. Groß u. H. Möller, Zeitschr. f. Phys. **19**, 375—387 (1923); H. Möller, Diss. (Greifswald 1924).

[3]) G. Tammann, Lehrb. der Metall. 1914, 18 ff.; Die Aggregatzustände. 1922, 262.

[4]) C. H. Desch, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 822 (1923).

[5]) A. Johnsen, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 87 f.

[6]) O. Mügge, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 721—739, 753—765.

isotrop gewordener Kristallsubstanzen mit den radioaktiven Erscheinungen erörtert wird [1]).

Wichtig sind die Untersuchungen von *M. Hasselblatt* [2]) über den Einfluß des Drucks auf die Kristallisationsgeschwindigkeit und das spontane Kristallisationsvermögen, insbesondere an organischen Substanzen.

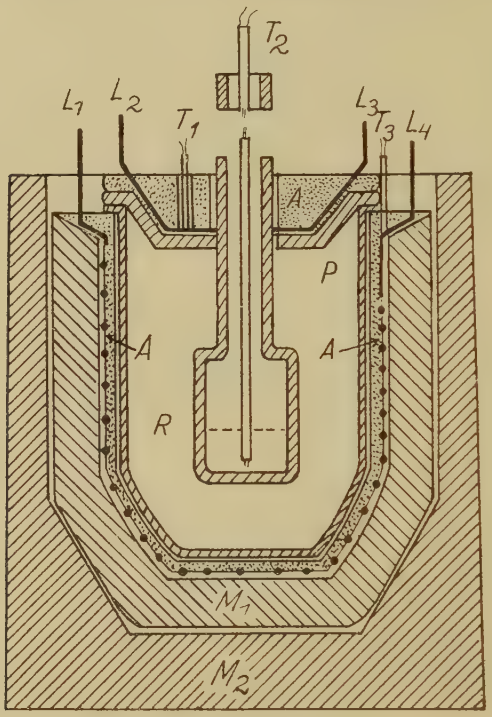


Fig. 2 Rotations-Viskosimeter für schmelzflüssige Silikate (nach Washburn)

Die Theorie der Methoden zur Bestimmung der inneren Reibung der Silikatschmelzen wurde erheblich gefördert von *W. E. Williams* [3]) und Messungen nach der Widerstandsmethode, so bei *A. Hoechberg* [4]) an geschmolzenen Silbersalzen und von *E. W. Washburn* [5]), welcher speziell die Fluidität in den Schmelzen des Systems $SiO_2 - CaO - Na_2O$ untersuchte (Fig. 2 u. 3). Die Werte des letzteren Autors sind wohl die genauesten bisher

[1]) Vgl. auch F. Rinne, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **67**, 311 (1915); und vor allem V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. 1924, Nr. 5, S. 51 ff., und J. Schetelig, loc. cit. 1922, Nr. 1, besonders S. 108—112.

[2]) M. Hasselblatt, Zeitschr. f. anorg. Chem. **119**, 325—369 (1921).

[3]) W. E. Williams, Phil. Mag. **29**, 526 (1915).

[4]) A. Hoechberg, Diss. (Frankfurt a. M. 1915); Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 317 (1916), dort ausführliche Literaturangaben.

[5]) E. W. Washburn, Rec. d. trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 686—696 (1923).

gemessenen Zahlen für Silikatschmelzen. Neuere Untersuchungen über die Viskosität der Schmelzen technischer Schlacken (von Hochöfen) zwischen 1275° und 1575° siehe bei *A. L. Feild*[1]). Ueber die innere Reibung geschmolzener Metalle siehe *R. Arpi*[2]), sowie die genaueren Werte bei *M. Plüß*[3]); vgl. auch die neueren ausführlichen Studien bei *F. Sauerwald* c. s.[4]).

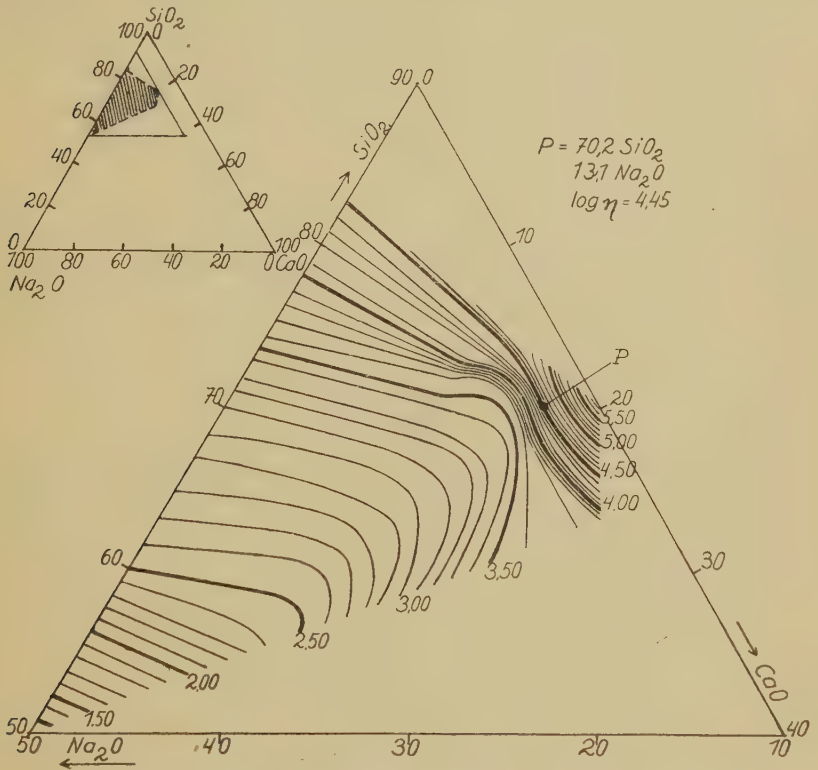


Fig. 3 Logarithmische Isokomen der ternären Schmelzen im System $CaO - Na_2O - SiO_2$ bei t = 1100° C (nach Washburn).

Aus der Sedimentationsgeschwindigkeit von Kristallen in Silikatschmelzen machte *N. L. Bowen*[5]) weitgehende Schlüsse auf die Viskosität ternärer Schmelzflüsse. So hat neuerdings auch *H. S. Washington*[6]) bei seinen Untersuchungen der Aa- und Pahoehoe-Laven gezeigt, wie die

[1]) A. L. Feild, U. S. Bur. of Mines, Techn. Pap. **157** (1916).
[2]) R. Arpi, Zeitschr. f. Metallk. **5**, 142—168 (1914).
[3]) M. Plüß, Zeitschr. f. anorg. Chem. **93**, 1—44 (1915).
[4]) F. Sauerwald, Zeitschr. f. anorg. Chem. **135**, 255—264 (1924); F. Sauerwald, H. Allendorf u. P. Landschütz, loc. cit. 327—332.
[5]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4] **39**, 185 (1915).
[6]) H. S. Washington, loc. cit. [5] **6**, 409—423 (1923).

Fluidität beim Kristallisieren von Feldspat aus basaltischen Schmelzen zunimmt, infolge der durch diesen Vorgang stattfindenden Zunahme der Konzentration an Eisenoxyden.

E. van Aubel[1]) gab eine einfache Temperaturabhängigkeit der Fluidität (reziproken Viskosität) φ in der Gleichung $\varphi = a + b \cdot \log (\Theta - t)$, wenn Θ die kritische Temperatur bedeutet. Den Einfluß des Drucks auf die Viskosität untersuchte *O. Faust*[2]); die Isobaren der inneren Reibung verlaufen für normale Flüssigkeiten bei höheren Drucken geradlinig, während bei assoziierten Flüssigkeiten der Druckeinfluß auf die Viskosität stark von der Temperatur abhängig ist.

Beachtenswert sind Ausführungen von *L. J. Simon*[3]), nach denen Lösungen isomorpher Stoffe in äquimolekularer Konzentration die gleiche Viskosität zeigen.

Die mit der inneren Reibung in engem Zusammenhang stehende Diffusion in Silikaten wurde von *G. Schulze*[4]) durch die quantitative Untersuchung der Wanderung der $Ag^{\cdot}$-Ionen in Thüringer Geräteglas wesentlich geklärt. In gleicher Richtung sind wichtig die Angaben von *A. Hoechberg*[5]) über die Diffusion von $Ag^{\cdot}$-Ionen in geschmolzenen Salzen. Die hohe Bedeutung derartiger Versuche für die Erkenntnis des elektrolytischen Dissoziationszustandes in solchen Schmelzen haben besonders *R. Lorenz* (s. u.) und *W. Nernst*[6]) betont.

Wichtige Versuche sind auch die von *N. L. Bowen*[7]) angegebenen über das Diffusionsvermögen einer Schmelze von Diopsid in solche von Plagioklas (verschiedener Zusammensetzung, Ab_2An_1; Ab_1An_1; Ab_1An_2). Durch Ueberschichten derselben und Bestimmung der Brechungsindizes der in bestimmten Stadien rasch abgekühlten Glaskörper konnte die schichtweise Aenderung der Zusammensetzung festgestellt werden, woraus sich der Diffusionskoeffizient in der Größenordnung von 0,015 cm^2/Tag bis 0,2 cm^2/Tag bei $t = 1500^0$ ergab. Diese Größe ist bedeutungsvoll, entspricht sie doch derjenigen sehr viskoser organischer Flüssigkeiten bei niederen Temperaturen; sie ist bedeutend kleiner als bei geschmolzenen Metallen und Salzen, aber größer als bei ersteren in festem Zustand (vgl. im letzten Abschnitt).

Die Oberflächenspannung geschmolzener Salze bestimmten noch *R. Lorenz, A. Liebmann* und *A. Hoechberg*[8]) nach der Methode der kapillaren Steighöhe nach dem Vorgange von *Foussereau*. *F. M. Jaeger*[9])

---

[1]) E. van Aubel, Compt. rend. **173**, 384—387 (1921).
[2]) O. Faust, Zeitschr. f. anorg. Chem. **86**, 479—495 (1914).
[3]) L. J. Simon, Compt. rend. **178**, 1606—1609 (1924).
[4]) G. Schulze, Zeitschr. f. phys. Chem. **89**, 168 (1915); Bemerkung von E. Heydweiller, loc. cit. S. 640.
[5]) A. Hoechberg, Diss. (Frankf. a. M. 1915); Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 317 (1916).
[6]) W. Nernst, Theoret. Chem. 434 (1920).
[7]) N. L. Bowen, Journ. of Geol. **29**, 295—317 (1912).
[8]) R. Lorenz, A. Liebmann u. A. Hoechberg, Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 301—304 (1916).
[9]) F. M. Jaeger, Zeitschr. f. anorg. Chem. **101**, 1—214 (1917).

verwirft diese Methode wegen der erheblichen Schwierigkeiten bei der Beschaffung einer genügend widerstandsfähigen und dabei doch durchsichtigen Kapillare. Er erhielt dagegen zwischen -80^0 und $+1650^0$ sehr genaue Resultate mittels einer von *M. Cantor* (1892) herrührenden und von *R. Feustel* (1905) ausgearbeiteten Methode, der Methode der „platzenden Bläschen“ [1]). Neuerdings verwandte *E. W. Washburn* [2]) eine Methode des „eintauchenden Zylinders“ (Fig. 4) und erhielt bei Schmelzen im System

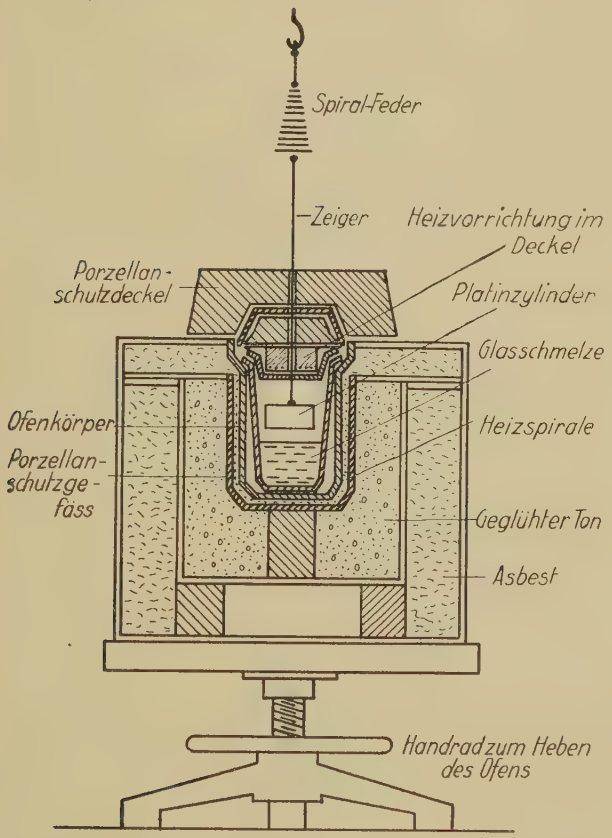


Fig. 4 Vorrichtung zur Bestimmung der Oberflächenspannung von Silikatschmelzflüssen (nach Washburn).

$CaO - SiO_2 - Na_2O$ Kurven gleicher Oberflächenspannung (isoepitatic curves) (Fig. 5). *J. Livingston R. Morgan* [3]) verwirft gleich den früheren Autoren

[1]) Vgl. Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **23**, 330, 416, 611, 627 (1914); **24**, 75, 205 (1915); **25**, 284 (1916).
[2]) E. W. Washburn, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 686—696 (1923).
[3]) J. Livingston R. Morgan, Journ. Amer. Chem. Soc. **37**, 1461 (1915).

die *Quincke*'sche Methode der Bestimmung des Tropfengewichts. Eine Anwendung derselben auf Glasschmelzen gab noch *A. Lecrenier*[1]). *Stoecker*[2]) benutzte statt dessen (bei wässerigen Lösungen) nach einem Gedanken von *Lord Rayleigh* (1879) und *N. Bohr* (1909) die photographische Aufnahme eines aus elliptischer Oeffnung austretenden Flüssigkeitsstrahles.

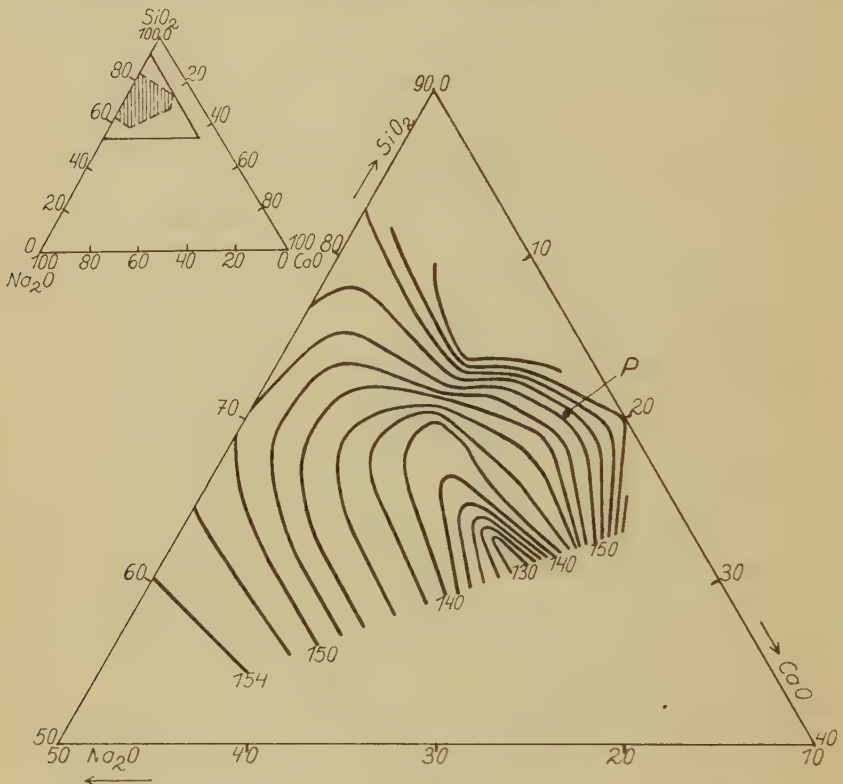


Fig. 5 Isoepitatische Kurven (Kurven gleicher Oberflächenspannung) für Schmelzen des ternären Systems $CaO - Na_2O - SiO_2$ bei t = 1454° C (nach Washburn).

Ueber die elektrolytische Leitfähigkeit von Silikaten und ihren Schmelzen siehe neuerdings *C. Doelter*[3]). Das elektrolytische Leitvermögen auch fester kristallisierter Salze stimmt mit dem neuerdings so oft erwiesenen Aufbau der Raumgitter der Salze aus Ionengittern überein[4]). Von großem Interesse ist die seinerzeit von *Warburg* und *Tegetmeier*

---

[1]) A. Lecrenier, Bull. Soc. Chim. Belgique **33**, 119—122 (1924).
[2]) Stoecker, Zeitschr. f. phys. Chem. **94**, 149 (1920).
[3]) C. Doelter, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 729—732 (1923).
[4]) Vgl. M. Born, Ann. d. Phys. [4] 61 (1919); M. Born und O. Stern, SB. d. Berlin. Akad. d. Wiss. 1919, 903.

(1887—1890) ausgeführte und neuerdings von *R. Ambronn*[1]) wiederholte Untersuchung des Leitvermögens von Quarz in Richtung der c-Achse durch wandernde Na·-Ionen. An Gläsern hat *R. Ambronn*[2]) ebenfalls derartige elektrolytische Wanderungen der Na·-Ionen nachgewiesen[3]).

Ueber die Anordnung, welche zur Bestimmung des Leitvermögens geschmolzener Salze sich am besten bewährte, siehe *R. Lorenz* und *A. Hoechberg* (s. o.); wesentliche apparative Verbesserungen, welche bei Versuchstemperaturen bis 1500° anzubringen sind, haben *F. M. Jaeger* und *B. Kapma*[4]) angegeben.

Von ganz besonderem Interesse sind die von *C. Tubandt* und *E. Lorenz*[5]), sowie mit *S. Eggert* und *G. Schibbe*[6]) angestellten Untersuchungen über die elektrolytische Leitfähigkeit und die Ueberführungserscheinungen an Jodsilber und zahlreichen anderen Schwermetallhalogeniden und -sulfiden. Es ergab sich, daß das kristallisierte Salz stärker elektrolytisch dissoziiert ist als das geschmolzene Salz; dieser Befund ist von großer Wichtigkeit, weil auch im Sinn der röntgenogrammetrischen Untersuchungen das erstere uns als Ionen-Raumgitter erscheint (s. o.). Auch ist die Theorie von *G. Tammann*[7]), daß in den geschmolzenen Salzen verschiedene Molekülarten sich befinden, mit der Feststellung eines erheblichen Assoziationsgrads in diesen sehr wohl im Einklang[8]).

Die galvanische Polarisation wird neuerdings immer mehr in ihren großen Wirkungen auf die chemischen Reaktionen in der Tiefe und am Ausgehenden von Erzlagerstätten, besonders von Lampriten erkannt. So gab *C.* und *M. Schlumberger*[9]) die Anschauung wieder, daß Erdströme sich durch Gasketten einstellen werden, wenn Sauerstoff in die Gesteine mit Sickerwässern herabgelangt. Besonders eingehend behandelte diese von *Schlumberger* „spontane Polarisation" genannten elektrischen Ströme *S. F. Kelley*[10]) und *J. Königsberger*[11]) vom Standpunkte der praktischen Geologie. Mit der Theorie der Erscheinungen galvanischer Polarisationen hat namentlich *Wells*[12]) sich beschäftigt, in neuerer Zeit auch *K. Hummel*[13]), der auf die Wirkungen solcher Ströme (Fernwirkungen vor allen Dingen,

---

[1]) R. Ambronn, Nova Acta d. Kaiserl. Leopold. Akad. **101** (1917).

[2]) R. Ambronn, Phys. Zeitschr. **19**, 401—405 (1918).

[3]) Siehe auch die Arbeit von A. Kraus u. H. Darby, Journ. Amer. Chem. Soc. **44**, 2783—2797 (1922); vor allem auch J. W. Rebbeck u. J. B. Ferguson, loc. cit. **46**, 1991—2002 (1924), sowie die Literatur-Uebersicht bei E. E. Schumacher, loc. cit. **46**, 1776 (1924).

[4]) F. M. Jaeger u. B. Kapma, Zeitschr. f. anorg. Chem. **113**, 27—58 (1920).

[5]) C. Tubandt u. E. Lorenz, Zeitschr. f. phys. Chem. **87**, 513—542 (1919).

[6]) Mitt. d. Naturf. Ges. Halle a. S. **4**, 21—38 (1917); Zeitschr. f. anorg. Chem. **110**, 196—236 (1920); **115**, 105—126 (1921); **117**, 1—47, 48—58 (1921).

[7]) G. Tammann, Die Aggregatzustände. 1922, 116 ff., 140 ff.

[8]) Ueber Oberflächenleitung von Salzen siehe auch P. Vaillant, Compt. rend. **179**, 530—532 (1924).

[9]) C. u. M. Schlumberger, Compt. rend. **174**, 477—480 (1922); siehe auch Étude sur la prospection électrique du sous-sol (Paris 1920).

[10]) S. F. Kelley, Engin. a. Min. Journ. 1922, 623 ff.

[11]) J. Königsberger, Geol. Rundsch. **14**, 164 ff. (1923).

[12]) Wells, U. S. Geol. Surv. Bull. **548** (1914).

[13]) K. Hummel, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 66—71.

Konzentrations- und stoffliche Verschiebungen, selbst Kaolinisierung und Zersetzungen, z. B. in der Nähe von Graphitlagerstätten) hinwies. Polarisationsströme dürften auch bei magmatischen Differentiationsvorgängen in der Schmelze selbst eine nicht unerhebliche Rolle spielen[1]).

Das Vorkommen komplexer Ionen in den magmatischen Schmelzen ist durchaus wahrscheinlich, und *J. Jakob*[2]) hat unter ihrer Annahme eine sehr bemerkenswerte Theorie der magmatischen Mineralisatoren entwickeln können.

Das Problem der magmatischen Differentiation wurde von verschiedensten Seiten auch neuerdings bearbeitet. *L. Milch*[3]) gab in einem Vortrag (1922) eine Zusammenstellung der verschiedenen Anschauungen, die gegenwärtig im Mittelpunkt der Diskussionen stehen[4]). Die rein gravitative Sonderung bereits im Schmelzfluß erörterte *P. Niggli*[5]), wo von der thermodynamischen Theorie von *S. A. Shorter* ausgegangen wird. Von *A. Eilert*[6]) wurden experimentell die dem *Ludwig-Soret*'schen Prinzip entsprechenden Stoffwanderungen in homogenen Lösungen in Richtung des Wärmegefälles nachgewiesen und ihr Größenbetrag ermittelt; *H. Wessels*[7]) gelang es, sogar in hochviskosen Borat- und Silikatgläsern eine Stoffwanderung nach den kälteren Teilen hin wahrzunehmen. Nach diesen Experimentaldaten ist die vielumstrittene Frage nach der Möglichkeit einer Anwendung des *Ludwig-Soret*'schen Prinzips auf die primäre magmatische Differentiation in positivem Sinne gelöst. Freilich hat *N. L. Bowen*[8]) im Anschluß an seine oben besprochenen Diffusionsversuche bestritten, daß das genannte Prinzip alle Erscheinungen der Differentiation erklären könne; denn selbst bei Anwendung des sehr hohen Diffusionskoeffizienten $D = 0{,}25$ qcm/Tag kommt er zu dem Ergebnis, daß die volle Wirkung des *Ludwig-Soret*'schen Phänomens erst nach Zeiträumen merklich werden müßte, innerhalb deren schon längst das Magma abgekühlt wäre. *Bowen* beschränkt die Diffusionsvorgänge speziell auf die lokal auftretenden Differentiationen, besonders um die Reaktionsränder um magmatische Einschlüsse.

Am weitesten ist wohl die Theorie der gravitativen (fraktionierten) Kristallisationsdifferentiation ausgebaut worden, nach der ein Absinken primär gebildeter Kristalle und ein Aufsteigen leichterer Bestandteile der Schmelzmassen im Magma zu einer Sonderung, entsprechend der Saigerung der Metalle führen soll. Beispiele dafür sind in reicher Zahl gegeben, so

---

[1]) Vgl. P. Niggli, Chemie der Erde **1**, 101 (1915); Verhandl. d. Schweizer. Naturf.-Ges. (Neuenburg 1920).

[2]) J. Jakob, Zeitschr. f. anorg. Chem. **106**, 229 (1919).

[3]) L. Milch, Zeitschr. f. Krist. **57**, 555 ff. (1923); N. Jahrb. f. Min. 1923, I, 218—220.

[4]) Siehe auch W. Eitel, Die Naturwiss. **6**, 385, 400 (1918).

[5]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **91**, 115 ff. (1915).

[6]) A. Eilert, loc. cit. **88**, 1—37 (1914).

[7]) H. Wessels, Zeitschr. f. phys. Chem. **87**, 215 ff. (1914).

[8]) N. L. Bowen, Jornu. of Geol. **29**, 295—317 (1921).

von *A. L. Day*[1]) und *N. L. Bowen*[2]), endlich *V. M. Goldschmidt*[3]). *N. L. Bowen* erklärte so das Auftreten alkalisyenitischer Gesteine durch ihre Bildung aus alkalinischen Schmelzresten nach der Kristallisationsdifferentiation; eine große Zahl experimenteller Gründe wird von ihm für diese Theorie angeführt, welche im speziellen Teile ausgeführt werden sollen. Insbesondere ist das Vorkommen inkongruenter Schmelz- und Verfestigungsgleichgewichte (z. B. im System $MgO\text{-}SiO_2 : MgO \,.\, SiO_2$ aus $2\,MgO \,.\, SiO_2$ und Schmelzrest gebildet) und die Häufigkeit von Ungleichgewichten (z. B. Umschließung und Einhüllung) bestimmend für gewisse „Reaktionsprinzipien", welche in weitgehendem Maße auch die Differentiation durch Entziehung reaktionsfähiger Bestandteile beeinflussen können. *Bowen* hat neuerdings in ähnlichem Sinne auch besonders das Verhalten der Einschlüsse in Magmengesteinen erörtert[4]). Das Aufsteigen leichterer Bestandteile hat *Bowen*[5]) vortrefflich illustrieren können. Durch die Berücksichtigung auch der Anwesenheit von flüchtigen Bestandteilen im Magma, vor allem durch ihre Anreicherung in den Schmelzresten wird der Mineralbestand differenzierter Gesteine wesentlich beeinflußt, wie das besonders *P. Niggli* z. B. für die verschiedenen Silifizierungsstufen der Alkalialumosilikate dargelegt hat. Die Bedeutung der Destillationsvorgänge und allgemein der Gleichgewichte zwischen flüchtigen und nichtflüchtigen Bestandteilen der Magmen hat *P. Niggli* zum Gegenstand seiner speziellen Untersuchungen gemacht[6]).

Entgegen *Bowen's* Ansichten hat sich insbesondere *A. Harker*[7]) und *A. R. Daly*[8]) ausgesprochen, welch letzterer speziell eine ausgearbeitete Theorie der Entstehung der alkalisyenitischen Gesteine durch Umsetzung der sauren granitischen Magmen mit assimiliertem Gestein (insbesondere Kalkstein) aufgestellt hat, über die im Schlußabschnitt näheres ausgeführt wird. Die monomineralischen Anorthosite behandelte *P. Loewinson-Lessing*[9]), ebenfalls von einem gegenüber *Bowen's* verschiedenen Standpunkte.

Die Bestimmung der Dichte-Eigenschaften der magmatischen Silikat-Schmelzen ist durch die methodische Untersuchung von *A. L. Day*, *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter*[10]) wesentlich gefördert worden; es wurde das Prinzip der *Archimedes*'schen Auftriebswage benutzt. Aehnlich sind auch

---

[1]) A. L. Day, Yearb. Carnegie Instit. Ann. Rep. Geophys. Laborat. **14**, 151—154 (1915).

[2]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci [4] **39**, 175 (1915); Journ. of Geol. **23**, Suppl. 1—91 (1915), ferner Journ. of Geol. **25**, 209—243 (1917); Zeitschr. f. anorg. Ch. **94**, 45—50 (1916).

[3]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selskab. Skrift. Math.-natw. Kl. 1916, Nr. 2, 91 ff., 110 ff., 129 ff.; 1922, Nr. 10, über „Stammestypen".

[4]) Bowen, Journ. of Geol. **30**, 513—570 (1922).

[5]) Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4] **39**, 186 ff. (1915).

[6]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 241—316 (1916); Chem. d. Erde **1**, 101—126 (1915); Zeitschr. f. Vulkanol. **5**, 61—84 (1919); vor allem in der Monographie Die leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas (Leipzig 1920).

[7]) A. Harker, Journ. of Geol. **24**, 554—558 (1916).

[8]) R. A. Daly, in seinem Buche Igneous Rocks and their origin (New York 1914.)

[9]) P. Loewinson-Lessing, Journ. of Geol. **31**, 89—105 (1923).

[10]) A. L. Day, R. B. Sosman u. J. C. Hostetter, Amer. Journ. of Sci. [4] **37**, 1 (1914); N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **40**, 119 (1916).

R. Lorenz und *A. Hoechberg*[1]) bei Bestimmung der Dichte geschmolzener Salze verfahren, ferner *F. M. Jaeger*[2]) bei seinen Untersuchungen zur Oberflächenspannung geschmolzener Salze, sowie *K. Bornemann* und *F. Sauerwald*[3]) bei Metall-Legierungen. Eine wesentlich andere Methode (die der Steighöhen-Differenzen) benutzte *C. Benedicks*[4]) neuerdings zur Bestimmung der Dichte schmelzflüssiger Metalle (bis 1600°). Eine Dilatometer-Anordnung für geschmolzene Metalle gab auch *F. Sauerwald*[5]) an.

Die Modifikationsänderungen.

Ueber den Begriff der Umwandlung (inversion) siehe Allgemeines bei *J. B. Ferguson*[6]). Den interessanten Versuch einer Berechnung der Umwandlungstemperaturen nach dem Theorem der übereinstimmenden Zustände unternahm *R. Lorenz*[7]).

Auf Grund seiner Studien über die Raumgitter polymorpher Modifikationen versuchte *F. Rinne*[8]) den Unterschied der sich leicht einstellenden Umwandlungen von den nur träge verlaufenden tiefer zu deuten; er bezeichnet die ohne Zusammenbruch des ganzen Kristallgebäudes ineinander überführbaren Modifikationen als homöomer und setzt diesen diejenigen entgegen, welche nur unter gänzlicher Umstehung des Raumgitters ineinander übergehen können (Typus Graphit-Diamant).

Die *Ostwald*'sche Stufenregel konnte erneut an zahlreichen Beispielen bestätigt werden; so von *F. M. Jaeger* und *H. Haga*[9]) im System $NiSO_4$ — H_2O, von *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin*[10]) im System SiO_2[11]), von *R. Brauns*[12]) an verschiedenen anderen Stoffen (Schwefel, HgJ_2, KNO_3 usw.).

P. Niggli[13]) hat die polymorphen Umwandlungen auf Grund des thermodynamischen Potentials diskutiert[14]).

Ueber total instabile Phasen siehe speziell *G. Tammann*[15]) und *F. Körber*[16]).

---

[1]) R. Lorenz u. A. Hoechberg, Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 288 (1916).
[2]) F. M. Jaeger, loc. cit. **101**, 51 (1917).
[3]) K. Bornemann u. F. Sauerwald, Zeitschr. f. Metallk. **14**, 149ff. (1922).
[4]) C. Benedicks, Compt. rend. **179**, 389—391 (1924).
[5]) F. Sauerwald, Zeitschr. f. Metallk. **14**, 329ff. (1922).
[6]) J. B. Ferguson, Sci. **50**, 544—546 (1919).
[7]) R. Lorenz, Zeitschr. f. anorg. Chem. **135**, 374—379 (1924).
[8]) F. Rinne, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **71**, 96ff. (1918).
[9]) F. M. Jaeger u. H. Haga, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **24**, 407 (1917).
[10]) J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **48**, 387 (1919).
[11]) Vgl. auch C. N. Fenner, Zeitschr. f. anorg. Chem. **85**, 133 (1914).
[12]) R. Brauns, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 225.
[13]) P. Niggli, Fortschr. d. Min. **5**, 134ff. (1916).
[14]) Desgl. in seinem Lehrb. d. Min. 1920, 317ff.; 2. Aufl. 1924, 513ff.
[15]) G. Tammann, Metallogr. 1914, 28ff.; Die Aggregatzustände. 1922, 137ff.
[16]) F. Körber, Zeitschr. f. phys. Chem. **82**, 45—55 (1913).

Ueber die von *A. Smits* aufgestellte Theorie der Pseudo-Gleichgewichte[1]) siehe ferner *H. Terwen*[2]) und *K. Schaum, K. Schaeling* und *Fr. Klausing*[3]). Die Anwendung auf die von *C. N. Fenner* (s. o.) im System SiO_2 speziell beim Cristobalit gefundenen hysteretischen Erscheinungen seiner Umwandlungen (zwischen 200 und 275 °) gaben *A. Smits* und *K. Endell*[4]). *O. Mügge*[5]) nimmt an, daß äußere Einflüsse, insbesondere Spannungen bei der Umstehung derartiger Kristallstrukturen in der Umwandlung die Erscheinung der Hysteresis verursachen; damit ist die Abhängigkeit der Umwandlung von der äußeren Vorbehandlung verständlich. *R. B. Sosman*[6]) stellte eine atomistische Strukturhypothese für die SiO_2-Modifikationen auf, welche die Hysteresis der Cristobalit-Umwandlung als eine Oszillationserscheinung auffaßt und mechanisch zu deuten vermag. Auch der Quarz zeigt bei seiner $\alpha \rightleftharpoons \beta$-Umwandlung in geringem Maße Abhängigkeit der Gleichgewichtstemperatur von der Vorbehandlung, also eine ähnliche Hysteresis, wie das *R. Wietzel*[7]) nachzuweisen vermochte. Besonders auffallend ist auch das vom gleichen Forscher gefundene verschiedene thermische Verhalten von einfachem und verzwillingtem Quarz, welches *Sosman* ebenfalls mit seiner atomistischen Theorie zu deuten vermochte. Die Theorie von *Smits* dagegen wurde auch von *W. P. White*[8]) sachlich angegriffen und zum Teil widerlegt.

Gleiches gilt für die *Smits*'sche Theorie der Molekularzustände polymorpher Stoffe, nach welcher verschiedene Molekülarten eines Stoffes in der festen Phase ineinander gelöst sind. Die von *G. Tammann*[9]) gegebene Theorie fußt dagegen mehr auf der Raumgittervorstellung des kristallisierten Zustandes und geht von der Tatsache aus, daß normale Flüssigkeiten keine oder höchstens monotrope Umwandlungen in der kristallisierten Phase zeigen, mit assoziierten Schmelzen dagegen oft Enantiotropie im festen Zustand verknüpft ist[10]).

Interessant ist auch die von *Sosman* (s. o.) auf Grund seiner atomistischen Theorie gegebene Erklärung der von *Rinne* und *Kolb* (1910) gefundenen Erscheinungen, daß die Brechungsindizes vom Quarz sich von etwa 200 ° unterhalb des Umwandlungspunktes an abnorm stark, wenn

---

[1]) Siehe besonders sein Buch „Theorie der Allotropie" (Leipzig 1921), siehe auch das 3. Heft des II. Bandes des Werkes von Bakhuis Roozeboom, „Die heterogenen Gleichgewichte" (Braunschweig 1918); ferner zahlreiche Abhandlungen in den Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. seit 1910; Rev. gén. d. sci. 15. 3. 1914; Zeitschr. f. phys. Chem. **88**, 743 (1914).

[2]) H. Terwen, Zeitschr. f. phys. Chem. **91**, 443 (1916).

[3]) K. Schaum, K. Schaeling u. Fr. Klausing, Lieb. Ann. **411**, 161—195 (1916).

[4]) A. Smits u. K. Endell, Zeitschr. f. anorg. Chem. **80**, 176—184 (1913); **106**, 43 (1919).

[5]) O. Mügge, N. Jahrb. f. Min. 1916, II, 1.

[6]) R. B. Sosman, Journ. Franklin-Inst. **194**, 741—764 (1922); Ref. N. Jahrb. d. Min. 1924, I, 160 f.

[7]) R. Wietzel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **116**, 84 (1921).

[8]) W. R. White, Amer. Journ. of Sci. [4] **47**, 31—41 (1919).

[9]) G. Tammann, Die Aggregatzustände. 1922, 116 ff., 140 ff.

[10]) Vgl. auch Lehrb. d. Metall. 1914, 28.

auch kontinuierlich mit der Temperatur verschieben, dann aber bei dieser eine sprungweise Aenderung erfahren [1]). Siehe auch die thermogoniometrischen Untersuchungen von *R. Großmann* [2]) an Boracit, Leucit usw.

Zur Bestimmung von Umwandlungspunkten ist das Erhitzungsmikroskop noch immer ein wertvolles Hilfsmittel, besonders in der von *R. Nacken* und *W. Grahmann* (1913) verbesserten Form des alten *Doelter*'schen Instrumentes und neuerdings in der von *K. Endell* [3]) angegebenen Konstruktionsweise. Die Anwendung der statischen (Expositionsmethode) wurde von den Forschern des Geophysikalischen Laboratoriums in Washington analog der Schmelzpunktsbestimmung in zahlreichen Fällen auch neuerdings mit bestem Erfolg geübt. Die Aufnahme dynamischer Erhitzungs- und Abkühlungskurven wurde neuerdings durch Einführung von Differentialapparaten usw. weiterhin vervollkommnet [4]). Einen Apparat zur thermischen Untersuchung der Umwandlung von Salzen unter Druckbeanspruchung gab *E. Jänecke* [5]) an. Die thermogoniometrische Methode wandte *R. Großmann* (s. o.) mit Erfolg auf die Bestimmung der Umwandlungen von Boracit und Leucit an; die diskontinuierlichen Winkeländerungen beim Umwandlungspunkt sind scharf ausgeprägt. Die Methode der Bestimmung des elektrischen Leitvermögens verschiedener Modifikationen benutzten *E. Posnjak, E. T. Allen* und *H. E. Merwin* [6]) bei ihren Untersuchungen über die polymorphen Gleichgewichte im System Cu_2S.

Den Einfluß des Drucks auf die Umwandlungstemperatur untersuchte *P. W. Bridgman* [7]) in Fortsetzung der älteren *Tammann*'schen Untersuchungen. Die p-t-Kurven für eine große Zahl von Substanzen konnten festgestellt werden, und prinzipiell ist beim HgJ_2 die Feststellung eines Maximums der Umwandlungstemperatur (für $V_\alpha - V_\beta = 0$) von hervorragender Bedeutung. Das von *G. Tammann* gegebene Beispiel der Umwandlung des Schwefels bei hohen Drucken wurde besonders in der schönen Untersuchung von *H. Rose* und *O. Mügge* [8]) bis $t = 263^0$ und $p = 19300$ kg/qcm fortgeführt; über andere Schwefelmodifikationen siehe auch *A. H. W. Aten* [9]) und *E. Beckmann* [10]). Ueber das von *G. Tammann*

---

[1]) Vgl. auch A. L. Day, R. B. Sosman u. J. C. Hostetter, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **40**, 137 ff. (1916), für die Volumkurve des Quarzes ähnliches beobachtet.

[2]) R. Großmann, Diss. (Leipzig 1917), 29 ff.

[3]) K. Endell, Zeitschr. f. Krist. **56**, 191 ff. (1922), bei Firma E. Leitz.

[4]) Siehe z. B. C. Desch, Metallographie 1914, 75 ff.; P. Goerens, Einführung in die Metallographie, 2. Aufl. 1915, 160 ff.; ein Beispiel im System $CaCO_3$ gegeben von F. H. Smyth u. L. H. Adams, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 1167—1184 (1923).

[5]) E. Jänecke, Zeitschr. f. phys. Chem. **90**, 257 (1915).

[6]) E. Posnjak, E. T. Allen u. H. E. Merwin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 119 ff. (1916).

[7]) P. W. Bridgman, Proceed. Amer. Acad. of Arts a. Sci. **51**, 55 (1915); Proceed. Amer. Nat. Acad. **1**, 513 (1915).

[8]) H. Rose u. O. Mügge, Gött. Nachr. d. Ges. d. Wiss. 1922, 105 ff.; N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **48**, 250—259 (1923).

[9]) A. H. W. Aten, Zeitschr. f. phys. Chem. **88**, 321 (1914).

[10]) E. Beckmann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **103**, 189 (1917).

und *P. W. Bridgman* (1912) untersuchte System H_2O [1]) siehe noch eine Bemerkung von *P. W. Bridgman* [2]); ferner *G. Tammann* [3]), dort auch Angaben z. B. über das Druckmaximum auf der Umwandlungskurve für Benzol I—II[4]). Ueber das System CO_2 [5]) siehe auch *H. Terwen* [6]), sowie die theoretischen Gesichtspunkte bei *A. Smits* [7]).

Ueber die genetische Bedeutung der Umwandlungspunkte der Mineralien siehe die Ausführungen z. B. über die Umwandlung Aragonit ⇀↽ Calcit bei *H. E. Merwin, E. D. Williamson* und *J. Johnston* [8]), über den natürlichen Boracit z. B. *R. Brauns* [9]), über den α- und β-Quarz besonders *O. Mügge* [10]) und *A. Johnsen* [11]), der berechnet, daß in einer Tiefe von 21,1 km (entsprechend $t = 639^0$ und $p = 5272$ atm.) der trigonal-trapezoëdrische Quarz aufhört, existenzfähig zu sein. *E. F. Holden* [12]) fand, daß der Rosenquarz unterhalb 575^0 gebildet sein muß, während der pegmatitische Quarz oft als Rauchquarz ausgebildet ist.

Neuerdings hat *F. Rinne* [13]) auf die Umwandlung des Silberglanzes bei 179^0 als wichtigen Fixpunkt aufmerksam gemacht.

Kalorische Eigenschaften der Mineralien.

Ueber kalorimetrische Vorrichtungen zur Bestimmung von Lösungs- und Kristallisationswärmen siehe die Ausführungen von *R. Wietzel* [14]). Die Bildungswärmen vieler Sulfide sowie des Kieselsäurehydrats maß *W. G. Mixter* neuerdings [15]).

Die spezifischen Wärmen bestimmte *W. P. White* mit besonderer Genauigkeit für eine große Zahl kristallisierter Mineralien, Metalle, Gläser usw. [16]). Messungen auch mittels des *Nernst-Lindemann*'schen Kupferkalorimeters siehe bei *R. Wietzel* [17]) und bei *R. Ewald* [18]). Die Zahlen von *R. Wietzel*

---

[1]) Siehe ferner Zeitschr. f. anorg. Chem. **88**, 57 (1914).
[2]) P. W. Bridgman, loc. cit. **89**, 252 (1915).
[3]) G. Tammann, Die Aggregatzustände 1922, 159 ff.
[4]) loc. cit. 186.
[5]) Vgl. G. Tammann (1912).
[6]) H. Terwen, Zeitschr. f. phys. Chem. **91**, 463 (1916).
[7]) A. Smits, loc. cit. **89**, 268 (1915).
[8]) H. E. Merwin, E. D. Williamson u. J. Johnston, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 473—512 (1916).
[9]) R. Brauns, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 228 ff.
[10]) O. Mügge, loc. cit. 600—615, 641—648; 1922, 593 ff.
[11]) A. Johnsen, SB. d. Bayr. Akad. d. Wiss. math.-phys. Kl. 1920, 321 ff.
[12]) E. F. Holden, Amer. Min. **9**, 75—88, 101—108 (1924).
[13]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 299—301 (1924).
[14]) R. Wietzel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **116**, 74 ff. (1921). In Fortführung der älteren Versuche von O. Mulert.
[15]) W. G. Mixter, Amer. Journ. of Sci. [4] **42**, 125 (1916); Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 385 (1915).
[16]) Ueber die Apparatur siehe Journ. Amer. Chem. Soc. **36**, 2313 (1914); die Hauptveröffentlichung siehe Amer. Journ. of Sci. [4] **47**, 1—59 (1919); über die elektrische Kalorimeterheizung siehe Journ. Wash. Acad. Sci. **13**, 17—28 (1923).
[17]) R. Wietzel, loc. cit.
[18]) Mittels eines von Magnus angegebenen Kupferkalorimeters, siehe Diss. (Berlin 1914).

sind ca. einhalb Proz. höher als diejenigen von *W. P. White*. Vgl. Fig. 6, einige Kurven nach *Nernst*.

Die Bestimmung einer Schmelz- oder Umwandlungswärme aus dem Haltepunkt auf der Abkühlungskurve wandte *G. D. Roos* [1]) bei Metallverbindungen an.

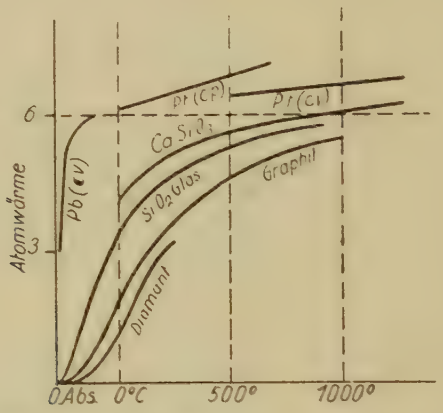


Fig. 6 Verlauf der Atomwärme (mittleren Atomwärme bei Verbindungen) mit der Temperatur, zusammengestellt nach Ergebnissen von Nernst, Magnus und White.

Das *Nernst*'sche Wärmetheorem wurde verschiedentlich auf die heterogenen Umwandlungsgleichgewichte mineralischer Systeme angewandt; eine allgemeine Zusammenstellung gab *W. Eitel* [2]). Genaue Messungen der wahren spezifischen Wärme vieler Stoffe bei tiefen Temperaturen siehe bei *R. Ewald* [3]); sowie *P. Günther* [4]); neuerdings von *F. Simon* [5]), der ein besonderes Vakuumkalorimeter konstruierte [6]). *R. Gans* [7]) hat gemeinsam mit *Drägert* [8]) einen zur Konstruktion der A-Kurven speziell gebauten Integrator konstruiert.

Spezielle Beispiele siehe im zweiten Teil.

Die theoretische Berechnung der chemischen Konstanten der Gase gab *O. Stern* [9]).

---

[1]) G. D. Roos, Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 329 (1916).

[2]) W. Eitel, Fortschr. d. Min. **8**, 7—68 (1923), mit ausführlicher Literatur, siehe auch das Buch von W. Nernst, Die theoret. u. experiment. Grundl. d. neuen Wärmesatzes (Halle a. S. 1918), 2. Aufl. 1923 und Theoret. Chemie 1921, 776—811; Ber. d. Deutsch. chem. Ges. **47**, 608 (1914); endlich J. Eggert, Die Naturwiss. **7**, 883 ff., 917 ff. (1919).

[3]) R. Ewald, Ann. d. Phys. [4] **44**, 1213—1237 (1914).

[4]) P. Günther, loc. cit. **51**, 828—846 (1917); **63**, 476 ff. (1920).

[5]) F. Simon, loc. cit. **68**, 241 ff. (1922).

[6]) Vgl. die ältere Form bei A. Eucken, Verh. d. Deutsch. phys. Ges. **18**, 4 (1916).

[7]) R. Gans, Phys. Zeitschr. **16**, 247, 295 (1915).

[8]) Drägert, Diss. (Berlin 1914).

[9]) O. Stern, Zeitschr. f. Elektrochem. **25**, 66 (1919).

Zweistoffsysteme.

Ueber die Molekulargröße des in geschmolzenem Li_2SiO_3 gelösten SiO_2 konnten *R. Schwarz* und *H. Sturm*[1]) bestimmte Aussagen auf Grund der Schmelzpunktserniedrigung machen; es ist als $(SiO_2)_2$ in der Schmelze vorhanden. Gleicherweise konnte *R. Schwarz*[2]) aussagen, daß $ZrSiO_4$ in Li_4SiO_4 monomolekular gelöst ist.

Für die Aenderung der Lage eutektischer Punkte mit dem Druck gab *M. Hasselblatt*[3]) ein vorzügliches Beispiel im System $Ca(NO_3)_2 \cdot 4\,aq$—$Cd(NO_3)_2 \cdot 4\,aq$. Vor allem aber sind wichtig die Untersuchungen von *O. Mügge* und *A. Geller*[4]), welche für eine Reihe von Salzhydraten und Doppelsalzen ergaben, daß bei sehr hohen Drucken unter Umständen eine vorher inkongruent schmelzende Verbindung kongruent sich verflüssigt (so Glaubersalz, Bischofit, Carnallit).

Für die „Hebelbeziehung" gab *C. O. Swanson*[5]) eine beachtenswerte graphische und rechnerische Ableitung[6]). Den Einfluß von erheblichen Unterschieden in der Kernzahl in eutektisch kristallisierenden Systemen auf die Verfestigung stellte *G. Tammann*[7]) ausführlich dar. Die Bedeutung der eutektischen Kristallisationen für den Verlauf der magmatischen Erstarrung und der Differentiation hatte *J. H. L. Vogt* schon 1908 erkannt; auch neuerdings wurden diese Erscheinungen „anchieutektischer" und „anchimonomineralischer" Kristallisation in *Bowen's* Theorie der Kristallisationsdifferation verflochten[8]). Kinematische Studien über die eutektische Verfestigung siehe bei *A. Johnsen*[9]). *G. Masing*[10]) gibt in einem Bericht über die Ausführungen von *F. L. Brady*[11]) besonders dessen Ansicht über die unigrane Durchwachsung der (in diesem Falle metallischen) Kristallkörner wieder, welche sich in einer einheitlichen Orientierung der Bestandteile äußert und eine gleichmäßige Bildung von Gleitflächen, der optischen Orientierung (z. B. dislozierte Reflexionen) usw. über ein solches „Korn" herbeiführt.

Das Gebiet der Isomorphie und Mischkristallbildung steht gegenwärtig im Mittelpunkt des Interesses; die zahlreichen Ergebnisse der neueren Atomtheorie (*N. Bohr, W. Kossel* u. a.), sowie die Röntgenforschung haben unsere Grundanschauungen vom Wesen der Isomorphie und insbesondere der *Mitscherlich*'schen Postulate gewandelt. Insbesondere ist man

---

[1]) R. Schwarz u. H. Sturm, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **47**, 1730, 1735 (1914).

[2]) R. Schwarz, Zeitschr. f. anorg. Chem. **115**, 93 ff. (1921).

[3]) M. Hasselblatt, loc. cit. **119**, 313—324 (1921).

[4]) O. Mügge und A. Geller, Nachr. d. Ges. d. Wiss. Göttingen 1924, 1—11; Zeitschr. f. Krist. **60**, 414—472 (1924).

[5]) C. O. Swanson, Amer. Journ. of Sci. [5] **7**, 233—238 (1924).

[6]) Eine elementare z. B. bei G. Tammann, Lehrb. d. Metallogr. 1921, 148.

[7]) G. Tammann, loc. cit. 149.

[8]) Siehe z. B. Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 23—50 (1916); vgl. auch J. H. L. Vogt, Vidensk. Selskab. Skrift. math.-natw. Kl. 1918.

[9]) A. Johnsen, SB. Berl. Akad. d. Wiss. 1923, 208 - 210.

[10]) G. Masing, Die Naturwiss. **11**, 232 (1923).

[11]) F. L. Brady, Inst. of Met. 1923.

von dem Begriff der „chemischen Analogie" grundsätzlich abgekommen, wenn auch z. B. *E. S. Fedorow*[1]) neuerdings einige Fälle typischer Strukturisomorphie gegeben hat, z. B. Dibenzol-Stilben, Tolan-Azobenzol. Als Grundpostulate ergeben sich nach *H. G. Grimm*[2]) vielmehr die folgenden:

1. Gleichheit des chemischen Bautypus;
2. Uebereinstimmung des Gittertypus;
3. Aehnlichkeit der Ionenabstände im Gitter.

Für diese Grundbedingungen einer Isomorphie (nach Möglichkeit von Mischkristallbildung oder wenigstens paralleler Verwachsung) gibt *H. G. Grimm* nach Versuchen von *E. Köstermann*[3]), *G. Wagner*[4]) und *P. Beyersdorfer* eine große Anzahl von Beispielen, welche schlagend ihre Gültigkeit dartun. Es gibt nach diesen Prinzipien weit mehr Möglichkeiten zur Mischkristallbildung, als man bisher geglaubt hatte[5]). Besonders die eigenartigen Mischkristalle von $BaSO_4$ und $KMnO_4$, von $BaSO_4$ und $BaFeO_4$ usw. zeigen eine vordem nicht bekannte Stabilität durch die Schutzwirkung der chemisch inaktiven Komponente $BaSO_4$, wie sie in der Tat den lichtechtesten organischen Farbstoffen entspricht, lassen sich doch auch Seide, Wolle usw. mit diesen „anorganischen Farbstoffen" in den verschiedensten Tönen anfärben. Von speziellem Interesse sind die Isomorphie-Erscheinungen von $BaSO_4$ und $KMnO_4$ auch durch die Untersuchung von *F. Rinne*[6]) geworden, der in beiden eine pseudoreguläre Ausbildung nach ähnlichem Typus erkannte und den Uebergang in reguläre Modifikationen bei höheren Temperaturen betonte[7]).

Die Vorstellungen von *W. L. Bragg*[8]) über die absoluten Atom- und Ionendimensionen im Gitter der Kristalle postulieren im Fall der Isomorphie[9]) übereinstimmende Ionendimensionen, und auf Grund dieser Vorstellungen haben *E. T. Wherry*[10]) und *F. Zambonini*[11]) die Strukturübereinstimmung der Plagioklasreihe zu deuten vermocht. *R. W. Wyckoff*[12]) betont demgegenüber die Unzulänglichkeit dieses *Bragg-Wherry*'schen Postulats und verwirft auch das früher vielfach herangezogene Prinzip der Valenzensumme. Nach *R. W. Wyckoff* ist in den Kristallen weder das Prinzip der dichtesten Kugel-

---

[1]) E. S. Fedorow, Ann. de l'Inst. d. Min. **6**, Nr. 1, S. 65 (Petrograd 1916); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1924, I, 3.

[2]) H. G. Grimm, Zeitschr. f. phys. Chem. **98**, 353—394 (1921); Zeitschr. f. Elektrochem. **30**, 467 ff. (1924).

[3]) E. Köstermann, Diss. (München 1924).

[4]) G. Wagner, Diss. (München 1924).

[5]) Vgl. H. G. Grimm, Zeitschr. f. Krist. **57**, 575 (1923).

[6]) F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 161—166.

[7]) Vgl. D. Vorländer und E. Kaascht, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **56**, 1157 (1923).

[8]) W. L. Bragg, Phil. Mag. **40**, 169—189 (1920).

[9]) Vgl. Langmuir, Journ. Amer. Chem. Soc. **41**, Nr. 10 (1919); W. L. Bragg, X-Rays and Crystal Structure, 4. Aufl. (London 1924), 188 ff.

[10]) E. T. Wherry, Amer. Min. **7**, 113—121 (1922).

[11]) F. Zambonini, loc. cit. **8**, 81—85 (1923); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1924, I, 296 ff.

[12]) R. W. Wyckoff, loc. cit. 85—92; Ref. loc. cit. 297.

packungen erfüllt[1]), noch das der konstanten Atomdurchmesser. Als homotaxial bezeichnet *R. W. Wyckoff* die Substanzen des gleichen Anordnungstypus im Gitter; doch schließt er ausdrücklich daraus noch nicht, daß solche Stoffe etwa isomorph seien, da hier noch erhebliche Differenzen des Molekularvolumens mitsprechen können. Diese Anschauungen werden durch die obengenannten *H. G. Grimm's* in der Tat bestätigt und erweitert. *E. T. Wherry*[2]) hat neuerdings die Ionendurchmesser berechnet und tabellarisch zusammengestellt, welche er zu seinen Bestimmungen isomorpher Körper verwendet. Den ganzen Fragenkomplex behandelte auch *P. P. Ewald* in seinem Buche „Kristalle und Röntgenstrahlen"[3]), ferner spezieller noch *H. Steinmetz*[4]).

Eine besondere Auffassung vertritt *A. N. Winchell*[5]) hinsichtlich der Mischkristalle z. B. der Melilithreihe und des Nephelins mit freier Kieselsäure; hier findet nach ihm keine isomorphe Vertretung statt, sondern vielmehr lediglich eine Einlagerung von SiO_2-Gruppen in die Lücken des Kristallgefüges der genannten komplexen Silikate, wodurch die Lichtbrechung nur wenig beeinflußt wird, die Dichte aber durch diese „Anfüllung" mit SiO_2-Massen erhöht werden muß, wie man das tatsächlich bei Melilithen und Nephelin beobachten kann.

Von älteren Zusammenfassungen sei noch genannt die von *C. Viola*[6]). Sehr anregend ward auch die Annahme von *G. Tammann*, nach der die Mischkristalle im normalen d. h. völlig gleichförmig verteilten Gitterzustande regelmäßige Punktsysteme auch der eingelagerten Substanz darstellen sollen, nicht aber etwa solche disperse Systeme, in denen die Einlagerung statistisch sich verteilte[7]). Besonders die so merkwürdige Erscheinung der Resistenzgrenzen metallischer Mischkristalle bei Behandlung mit bestimmten Agentien erklärte *G. Tammann* für eine Folge der Schutzwirkung inaktiver Atome auf die reaktionsfähigen eingelagerten, und es muß nach *Tammann* bei einer ganz bestimmten Konzentration der Mischkristalle (entsprechend einer ganz bestimmten normalen Atomverteilung im Mischkristallgitter) alsdann gerade eine scharfe Grenze dieser Art einsetzen, was er durch zahlreiche Versuche in vielen Fällen beweisen konnte. Trotzdem ist nach *G. Masing*[8]) die Erscheinung der Resistenzgrenzen auch bei einer statistisch ungeordneten Atomverteilung der Mischkristallgitter wohl möglich. Vor allem aber haben röntgenographische Forschungen an Mischkristallen ergeben, daß die *G. Tammann*'schen Vorstellungen völlig regelmäßiger Misch-

---

[1]) cf. Barlow, auf dessen Vorstellungen ja auch die W. L. Bragg's beruhen.

[2]) E. T. Wherry, Amer. Min. **9**, 165—169 (1924).

[3]) P. P. Ewald, Kristalle und Röntgenstrahlen (Berlin 1923), 188—202.

[4]) H. Steinmetz, Fortschr. d. Min. **9**, 5—10 (1924), mit ausführl. Literatur.

[5]) A. N. Winchell, Amer. Journ. of Sci. [5] **8**, 375—384 (1924).

[6]) C. Viola, Atti R. Accad. dei Lincei, Rom [5] **26**, I, 195 (1917).

[7]) Vgl. seine Ausführungen in zahlreichen Einzelabhandlungen der Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. 1914—1919, zusammengefaßt in Zeitschr. f. anorg. Ch. **107**, 1—239 (1919).

[8]) G. Masing, Zeitschr. f. anorg. Chem. **118**, 293—308 (1921).

kristallstrukturen nicht den Tatsachen entsprechen können, mindestens recht unwahrscheinlich sind [1]).

Die optisch anomalen Mischkristalle faßte *G. Tammann* im Sinne seiner soeben besprochenen Theorie als Zustände noch anomaler Atomverteilung im Gitter auf, infolge eines zurückgehaltenen strukturellen Ausgleichs in allen Teilen desselben, verursacht durch den mangelnden Platzwechsel, der erst bei höheren Temperaturen einsetzt und selbst bei den metallischen Mischkristallen längere Zeit zum Ausgleich bedarf.

Gewisse Winkeländerungen und Veränderungen an den Kristallelementen treten auf, wenn isomorphe Stoffe sich im Gitter austauschen [2]); von einer Additivität der Kristallwinkel an Mischkristallen kann indessen keine Rede sein [3]). Die verhältnismäßig geringfügigen Aenderungen der Kristallelemente hat 1870 *P. Groth* als Morphotropie bezeichnet und die sogenannten topischen Parameter (nach *F. Becke* und *W. Muthmann*) eingeführt; eine vorzügliche Darstellung dieser Verhältnisse gab *A. Johnsen* [4]), wo die der Morphotropie zugrunde liegenden Aenderungen der Gitter- und Strukturkonstanten, sowie der topischen Parameter als Topotropie bezeichnet werden [5]). Der von *F. Rinne* [6]) aufgestellte Begriff der Isotypie ist der Ausdruck des Vorkommens bestimmter Strukturtypen in der Kristallwelt, ohne daß Isomorphie der Träger dieser Formen damit verknüpft zu sein braucht.

Ueber den Bautypus der pseudoregulären Salze $BaSO_4$, $KMnO_4$, $KClO_4$ usw. (Baryttypus) s. o. bei *F. Rinne* [7]). Ueber den merkwürdigen Fall einer kontinuierlichen Mischbarkeit eines monoklinen mit einem rhombischen Salze im System $TlNO_3$—KNO_3 berichtet *J. Harbette* (1905), vgl. *A. Smits* [8]). Die kristallographische Uebereinstimmung der Komponenten eines Mischkristallsystems (z. B. KCl—NaCl bei höheren Temperaturen) braucht also nicht immer eine vollständige zu sein; es ist aber nach *Rinne* [9]) anzunehmen, daß die Intensität der physikalisch-chemischen Verknüpfung der Ionen im KCl—NaCl—Mischkristall eine Temperaturfunktion ist, so daß sie zwar bei höheren Temperaturen ausreicht, einen Mischkristall beständig zu machen, bei tieferen aber sie einen Grenzwert unterschreitet und der Mischkristall

---

[1]) Vgl. L. Vegard, Phys. Zeitschr. **18**, 93 (1917); Zeitschr. f. Phys. **5**, 17—26 (1921); M. von Laue, Ann. d. Phys. **56**, 497—506 (1918); ferner F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1919, 161; Zeitschr. f. anorg. Chem. **96**, 345 ff. (1916) über Röntgenogramme isomorpher und morphotroper Körper; H. G. Grimm und K. F. Herzfeld, Zeitschr. f. Phys. **16**, 77—83 (1923); über Thermodynamik der Mischkristallbildung cf. Herzfeld, loc. cit. 84—99.

[2]) Neuere Studien von F. Zambonini, Compt. rend. **162**, 835 (1916).

[3]) cf. F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 361.

[4]) A. Johnsen, Die Naturwiss. **6**, 487 (1918).

[5]) Eine neuere Anwendung der topischen Parameter auf die Pyroxenmineralien siehe bei M. A. Ledoux, Bull. soc. franç. de min. **39**, 232—280 (1916); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1924, I, 11 ff.

[6]) Vgl. Die Kristalle als Vorbilder des feinbaulichen Wesens der Materie (Berlin 1921), 57 ff.

[7]) F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 164 ff.

[8]) A. Smits, Zeitschr. f. phys. Chem. **89**, 257 (1915).

[9]) F. Rinne, Die Krist. als Vorbild. 1921, 54 ff.

zerfällt, so daß sich die Analogie von KCl und NaCl in diesem Fall z. B. nur noch durch die Bildung von Parallelverwachsungen verraten kann [1]). Eine stets lückenlose Mischkristallreihe wird indessen wohl meist nur bei Kristallen derselben Symmetrieklasse anzutreffen sein (s. o. *Grimm*), auch wird nach den Untersuchungen von *M. Hasselblatt* [2]) nur in diesem Fall eine isomorphe Impfwirkung eines Stoffes auf die unterkühlte Schmelze der anderen Kristallart wechselseitig eintreten können. Ueber die lineare Kristallisationsgeschwindigkeit isomorpher Mischungen siehe auch spezielle Untersuchungen von *M. Hasselblatt* [3]).

Die bekannten anomalen Mischkristalle von $FeCl_3$ und NH_4Cl untersuchte *A. Ritzel* [4]) und neuerdings *P. Gaubert* [5]) und *O. Lehmann* [6]); *A. Ritzel* konnte den Nachweis führen, daß ihre Zusammensetzung stark vom Uebersättigungsgrad der Lösungen abhängt, aus denen sie kristallisieren.

Ueber die künstliche Nachahmung von Sanduhrstrukturen an organischen Substanzen und Farbstoffen, aus dem Schmelzfluß kristallisiert, siehe *P. Gaubert* [7]). Ein Referat von *E. Rüst* [8]) behandelt die Zonarstrukturen in metallischen Mischkristallen. Bei solchen machte *G. Tammann* [9]) die Beobachtung, daß sie anomale Erscheinungen im allgemeinen weit weniger ausgeprägt zeigen als Mischkristalle, die aus wässerigen Lösungen kristallisierten [10]). Die Theorie der anomalen Atomverteilung in solchen Mischkristallen (s. o.) erklärt dies damit, daß die metallischen Mischkristalle bei Temperaturen kristallisierten, bei denen ein kinetischer Ausgleich von Unregelmäßigkeiten der Verteilung durch raschen Platzwechsel erfolgen konnte, wie man dies verhältnismäßig leicht durch thermische Exposition auch erweisen kann, was bei der sehr geringen Diffusionsfähigkeit in den bei niederen Temperaturen gebildeten Kristallen naturgemäß ausgeschlossen ist.

Ueber die Aenderung der physikalischen Eigenschaften in Mischkristallreihen siehe z. B. *G. Tammann* [11]).

Ueber die gesetzmäßigen Verwachsungen verschiedener Stoffarten siehe das bei *Grimm* c. s. schon oben ausgeführte, besonders z. B. über die Verwachsungen von PbS und NaBr (bei *Köstermann*); vgl. auch *F. Rinne* [12]) über das Verwachsen von isotypen Stoffen [13]).

---

[1]) Vgl. F. Rinne, Centr.-Bl. 1921, 577.
[2]) M. Hasselblatt, Zeitschr. f. anorg. Chem. **89**, 53 (1914).
[3]) M. Hasselblatt, Diss. (Göttingen 1914).
[4]) A. Ritzel, Chemie d. Erde **1**, 9—48, 270—293 (1915).
[5]) P. Gaubert, Compt. rend. **167**, 491 (1918).
[6]) O. Lehmann, N. Jahrb. f. Min. 1915, II, 109.
[7]) P. Gaubert, Compt. rend. **172**, 1299—1301 (1921).
[8]) E. Rüst, Die Naturwiss. **4**, 265 (1916).
[9]) G. Tammann, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. 1917, 226—235.
[10]) R. Brauns, (1891).
[11]) G. Tammann. Lehrb. d. Metallogr. 1914, 331 ff.; 1921, 301 ff.
[12]) F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 161—166.
[13]) Vgl. auch Beobachtungen von A. Fersmann, Bull. soc. Ouralienne d. sci. nat. Ekaterinburg **35**, 19—22 (1915); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1924, I, 308, über Verwachsung von Turmalin mit Feldspat; von L. Cahn, Beitr. z. Krist. u. Min. **2**, 7—10 (1919); Ref. loc. cit. 1924, I, 167, über solche von Topas-Granat und Rutil-Eisenglanz; von V. Goldschmidt u. R. Schröder, loc. cit. **2**, 11—16 (1919);

Ein schönes Beispiel für Isodimorphie lehrte *W. Grahmann* [1]) im System $CaSO_4$—$SrSO_4$ kennen; vgl. auch das System Na_2SO_4—K_2CrO_4—H_2O nach *Th. W. Richards* und *W. B. Meldrum* [2]). Ueber die „Eisenblende" im isodimorphen System FeS-ZnS siehe *F. Rinne* [3]), welcher die Dichten für die reinen regulären Blenden ZnS und FeS bzw. zu 3,975 und 3,506 aus der Struktur berechnete. Die noch hypothetische reguläre Form von FeS ist somit mit der Theorie übereinstimmend von geringerer Dichte und größerem spezifischen Volumen als die hexagonale. Der von *P. Chevenard* [4]) durch Dilatationsversuche bei 320° nachgewiesene Umwandlungseffekt, der auch mit der magnetischen Umwandlung zusammenfällt, dürfte mit dieser Polymorphie zusammenhängen.

Ueber die Umwandlung einer einzigen „inerten" Komponente in Mischkristallen hat *G. Tammann* [5]) wichtige Rechnungen gegeben, welche zeigen, daß bei einer bestimmten Konzentration die Umwandlungseffekte verschwinden müssen. Für Systeme mit mehrfachen Umwandlungen im festen Zustande sind die auch mineralogisch wichtigen mit den Komponenten $PbSO_4$, $PbCrO_4$, $PbMoO_4$ und $PbWO_4$ [6]) gute Beispiele. Ein schönes Paradigma für völlige Mischbarkeit im α-Kristall, für teilweise in der β-Phase beschrieb *W. Grahmann* [7]) im System $CaSO_4$—$SrSO_4$. Ueber die auch praktisch so bedeutungsvollen Entmischungen vieler Sulfide in Erzlagerstätten aus primären Mischkristallen siehe insbesondere die weitgreifenden Erörterungen von *H. Schneiderhöhn* [8]). Ueber die Entmischungen in Systemen vom Typus des NaCl—KCl siehe *K. Treis* [9]) und *W. Schäfer* [10]). *R. Nacken* [11]) konnte durch systematische Expositionsversuche im System NaCl—KCl und mikroskopische Untersuchung der Entmischungsprodukte selbst den genauen Verlauf der Entmischungskurve festlegen, einschließlich des kritischen Entmischungspunktes (bei 495° und 65 Mol.-Proz. NaCl). Analog ist nach *W. Schäfer* [12]) das System NaCl—LiCl. Vgl. weiterhin zu

---

Ref. loc. cit. 167ff.; endlich von P. Gaubert, Compt. rend. **178**, 856ff. (1924) über solche von Glimmern mit Alkali- und Ammoniumjodiden; nur kalihaltige Glimmer vermögen orientierende Wirkung z. B. auf NH_4J auszuüben; vgl. ferner die interessanten Ausführungen bei M. Royer, loc. cit. **179**, 1610—1612 (1924).

[1]) W. Grahmann, N. Jahrb. f. Min. 1920, 14ff.

[2]) Th. W. Richards u. W. B. Meldrum, Journ. Amer. Chem. Soc. **43**, 1543 (1921).

[3]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 285 (1924).

[4]) P. Chevenard, Compt. rend. **172**, 320—322 (1921).

[5]) G. Tammann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **91**, 263—277 (1915).

[6]) Von F. M. Jäger u. H. C. Germs untersucht, Zeitschr. f. anorg. Chem. **119**, 145—173 (1921).

[7]) W. Grahmann, N. Jahrb. f. Min. 1920, 11.

[8]) H. Schneiderhöhn, Met. u. Erz **19** (N. F. 10), 501—508, 517—526 (1922).

[9]) K. Treis, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **37**, 766 (1914).

[10]) W. Schäfer, $SrCl_2$—$CaCl_2$; loc. cit. 1914, I, 21.

[11]) R. Nacken, SB. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1918, 192.

[12]) W. Schäfer, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **43**, 145ff. (1920).

NaCl—KCl: *E. Vortisch*[1]), *E. Jänecke*[2]) und die ultramikroskopische Studie von *W. Eitel*[3]), endlich die genauen Temperaturangaben nach *Th. W. Richards*[4]).

Der Fall, daß eine Verbindung in zwei teilweise mischbare Flüssigkeiten beim Erhitzen zerfällt, so daß der Schmelzpunkt derselben nicht beobachtet werden kann, ist von *J. Kendall, E. T. Crittenden, H. K. Miller*[5]) im System $NaBr—AlBr_3$ wirklich beobachtet.

Dreistoffsysteme.

Allgemeines siehe bei *G. Tammann*[6]); ferner bei *W. Guertler*[7]) Spezielles über den Durchgang kondensierter ternärer Systeme durch nonvariante Vierphasengleichgewichte infolge Temperaturveränderung (Fig. 7, 8). Die

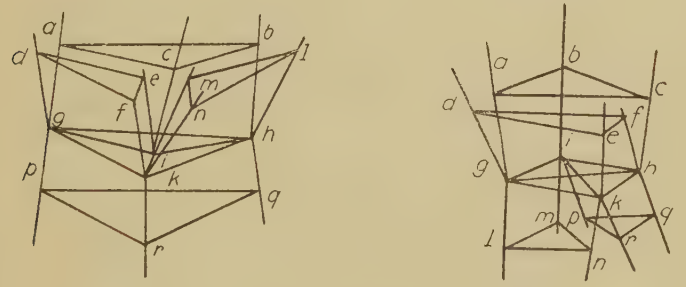


Fig. 7 und 8 Schemata ternärer Vierphasengleichgewichte (nach Guertler); Fig. 7 Für Peritektikum oder Umwandlung (im festen Zustand); Fig. 8 Eutektikum oder Dystektikum (im festen Zustand).

Schwerpunktsbeziehung für ternäre Systeme wurden von *C. O. Swanson*[8]) ganz allgemein graphisch und rechnerisch abgeleitet. Schöne Erörterungen über die Gleichgewichte in ternären Salzschmelzen gab auch *Th. Liebisch*[9]),

---

[1]) E. Vortisch, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 297.

[2]) E. Jänecke, Zeitschr. f. phys. Chem. **90**, 296—312 (1915).

[3]) W. Eitel, Centr.-Bl. f. Min. 1919, 173.

[4]) Th. W. Richards, Journ. Amer. Chem. Soc. **39**, 1816 (1917).

[5]) J. Kendall, E. T. Crittenden u. H. K. Miller, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 965 (1923).

[6]) G. Tammann, Lehrb. d. heterogenen Gleichgew. (Braunschweig 1924).

[7]) W. Guertler, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 574—578 (1923).

[8]) C. O. Swanson, Amer. Journ. of Sci. [5] **7**, 233—238 (1924).

[9]) Th. Liebisch, SB. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1915, 168; Zeitschr. f. anorg. Chem. **99**, 58 (1917).

ferner *G. A. Rankin*[1]) auch über die Feldergrenzen und die Kristallisationsbahnen, speziell an Hand des Systems SiO_2—Al_2O_3—CaO.

Ueber die Systeme mit binären Mischkristallen siehe *Th. Liebisch*[2]). Ein vortreffliches Beispiel für ein System mit eutektischer Linie gab *N. L. Bowen*[3]) im System Diopsid-Albit-Anorthit, welches für die Differentiation infolge fraktionierter Kristallisation von besonderer Wichtigkeit ist. Ueber Fälle mit Maxima und Minima in der Erstarrungskurve der Mischkristalle siehe *Th. Liebisch* und *E. Vortisch*[4]), ferner *K. Scholich*[5]).

Ein kritischer Mischpunkt war von *H. Gemsky* (1913) im System KCl—NaCl—$BaCl_2$ gefunden worden; eine andere Deutung der Ergebnisse dieser Arbeit gab *E. Jänecke*[6]). Die kritische Entmischungstemperatur für NaCl—KCl wird in ternären Systemen erhöht, so wie das *E. Vortisch*[7]), *K. Treis*[8]) und *K. Scholich*[9]) gefunden haben; vgl. auch die Verhältnisse im System $MgCl_2$—KCl—$BaCl_2$, wie sie *J. Valentin*[10]) beschrieben hat.

Einen vorzüglichen ternären Mischkristall-Sattelpunkt fand *P. Niggli*[11]) im System Na_2CO_3—K_2CO_3—$CaCO_3$. Einen ternären kritischen Mischpunkt gibt *W. Schäfer*[12]) für das System KCl—NaCl—LiCl an; ferner im System $BaCl_2$—$SrCl_2$—$CaCl_2$ den interessanten Fall[13]), daß eine ternäre Verbindung aus sich umwandelnden Mischkristallen entsteht; ihre Existenzfläche geht in diesem Fall direkt in eine Umwandlungsfläche über.

Vierstoffsysteme und Mehrstoffsysteme.

Eine ausführliche Erörterung aller Mehrphasengleichgewichte in Vierstoffsystemen gab *H. E. Boeke*[14]); seine statistischen Diagramme der tonerdehaltigen Augite sind Beispiele quaternärer Mischkristallbildungen[15]). Dort

---

[1]) G. A. Rankin, loc. cit. **92**, 265 ff., (1915).
[2]) Th. Liebisch, SB. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1920, 426.
[3]) N. L. Bowen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 23—50 (1916).
[4]) Th. Liebisch u. E. Vortisch, SB. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1920, 435 ff.; N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **38**, 215 (1914).
[5]) K. Scholich, loc. cit. **43**, 242 (1920).
[6]) E. Jänecke, loc. cit. Beil.-Bd. **38**, 501 (1915), ebenda eine Entgegnung von E. Vortisch, ferner E. Jänecke, Centr.-Bl. f. Min. 1919, 231, 358.
[7]) E. Vortisch, loc. cit. 1919, 293.
[8]) K. Treis, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **37**, 766 (1919).
[9]) K. Scholich, loc. cit. **43**, 251 ff. (1920).
[10]) J. Valentin, Compt. rend. **175**, 1061—1063 (1922).
[11]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **106**, 131 (1919).
[12]) W. Schäfer, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **43**, 132 (1920).
[13]) Loc. cit. 179.
[14]) H. E. Boeke, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 203—222 (1916).
[15]) H. E. Boeke, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 426 ff. Allgemeines siehe auch N. Jahrb. f. Min. 1916, I, 118; für die Glimmer ebenda, 83; für die Hornblenden siehe W. Eitel, loc. cit., Beil.-Bd. **47**, 201 (1922).

auch verschiedene Projektionsverfahren des darstellenden Tetraeders benutzt[1]).

Ueber quaternäre Phasengleichgewichte siehe z. B. *G. C. A. van Dorp*[2]) und *N. Parravano* und *G. Sirovich*[3]).

Speziell für die (quaternären) reziproken Salzgleichgewichte siehe nach den älteren ausführlichen Arbeiten von *E. Jänecke*[4]) eine Notiz von *H. Lechatelier*[5]), daß er schon 1894 die bekannte Darstellungsart im Quadrat benutzt hat.

Ueber Vielstoffsysteme (mit mehr als 4 Komponenten) hat *W. Eitel*[6]) eingehende Ableitungen erbracht und gezeigt, wie mit Anwendung mehrdimensionaler geometrischer Projektionsverfahren sich die Darstellung solcher komplizierter Gleichgewichte gestaltet. *H. E. Boeke*[7]) gab eine Anwendung solcher darstellend-geometrischer Methoden auf die komplexen Mischkristalle der Turmaline, *W. Eitel*[8]) entsprechend eine solche auf die Epidotmineralien. Eine Diskussion der Gesteinsanalysen nach Gesichtspunkten der Behandlung polynärer Systeme wurde gleichfalls von *W. Eitel*[9]) entworfen.

Die Komponenten der Magmen und der Erdkruste.

Als eine Grundlage der physikalisch-chemischen Mineralogie und Petrologie muß immer das Werk von *F. W. Clarke*, Data of Geochemistry, bezeichnet werden, welches 1920 in 4. Auflage erschien[10]). Die von ihm gegebene Berechnung der durchschnittlichen Zusammensetzung der Silikatgesteine der Erdoberfläche (bis 16 km Tiefe gerechnet) wurde von *H. S. Washington*[11]) neu berechnet; die neuesten Ergebnisse von *H. S. Washington* und *F. W. Clarke*[12]) umfassen auch die selteneren Elemente in großer Vollständigkeit. In der Lithosphäre sind nach allen diesen Berechnungen fast nur Elemente mit niedriger Atomnummer vorhanden[13]), von den

---

[1]) Vgl. H. E. Boeke, Zeitschr. f. Krist. **53**, 445 (1914).

[2]) G. C. A. van Dorp, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 765 ff. (1923).

[3]) N. Parravano u. G. Sirovich, zuletzt Gazz. chim. ital. **44**, II, 279 (1914); eine Diskussion der Abkühlungskurven in quaternären Gemengen siehe loc. cit. **47**, 133 (1917).

[4]) E. Jänecke, cf. Kalisalzlagerstätten.

[5]) H. Lechatelier, Compt. rend. **174**, 1501 (1922).

[6]) W. Eitel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **100**, 95—142 (1917); **103**, 253—255 (1918).

[7]) H. E. Boeke, N. Jahrb. f. Min. 1916, II, 109—146.

[8]) W. Eitel, loc. cit., Beil.-Bd. **42**, 173—271 (1919).

[9]) W. Eitel, loc. cit. **44**, 369—401 (1920) und **45**, 275—422 (1921).

[10]) U. S. Geol. Surv. Bull. **695** (1920).

[11]) H. S. Washington, Journ. of the Frankl. Inst. 1920; Smithson. Rep. for 1920, 269—320; Ref. N. Jahrb. f. Min. 1924, I, 40 ff.

[12]) H. S. Washington u. F. W. Clarke, Proceed. Nation. Acad. Sci. 8, 108—115 (1922); Ref. loc. cit. 43 ff.

[13]) Vgl. P. Niggli, Die Naturwiss. **9**, 463—471 (1921).

schwereren Elementen fast nur das Eisen. Dennoch ist das Studium der accessorischen Bestandteile in neuerer Zeit ganz besonders in den Vordergrund getreten, seitdem man erkannte, wie gewisse Elemente immer für ganz bestimmte Gesteinscharaktere typisch sind und mit bestimmten Mineralparagenesen verknüpft erscheinen. Eine übersichtliche Zusammenstellung über solche „Vorliebeerscheinungen", welche ja auch praktisch geologisch von großer Wichtigkeit sind, siehe in *Beyschlag-Krusch-Vogt*[1]), so auch bei *H. S. Washington*[2]) und in den oben zitierten Schriften. Man vergleiche auch spezielle Angaben von *A. Holmes*[3]) über das Vorkommen von Metallen der seltenen Erden, Schwefel (als SO_3), Radium usw. besonders in den Mineralien der Natrongesteine. Als Hauptkomponenten unserer gewöhnlichen irdischen Magmengesteine gelten immer doch nur SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, FeO, MgO, CaO, K_2O, Na_2O, H_2O; die anderen (selbst P_2O_5, TiO_2 usw.) als ständige Begleiter[4]).

In besonderer Weise ist *V. M. Goldschmidt* in einer größeren Reihe von Arbeiten auf die Massenverteilung im Erdinneren, verglichen mit der Struktur von Meteoriten[5]), sowie auf die geochemischen Verteilungsgesetze eingegangen[6]), nachdem er in einer anderen Arbeit[7]) seine Anschauungen über den Stoffwechsel der Erde auseinandergesetzt hatte. Diese gründen auf der Annahme, daß der Erdball in Schalen von verschiedener Dichte gegliedert ist, und zwar einer äußeren Silikathülle (bis 120 km Tiefe), eine Eklogitschale, welche zusammengepreßten femischen Gesteinen entspricht (bis 1200 km Tiefe), eine sulfidisch-oxydische Schale (bis 2900 km Tiefe) und endlich der Metallkern, entsprechend der metallurgischen „Schlacke", dem „Stein" und der „Eisensau". Produkte der Tiefe, z. B. die Eklogite, kommen nur gelegentlich (als Einschlüsse z. B. in Kimberlit, mit Diamant) zutage. Die Schwermetalle können als flüchtige Verbindungen (Halogenide, Karbonyle usw.) auch in höhere Lagen gelangen, während andererseits durch Metamorphose infolge Absinkens in größere Tiefen und Metasomatose[8]) auch die oberen Gesteinsarten ihr Antlitz ändern können. Im ursprünglich flüssigen Zustand der Erde werden die Schichten des geschmolzenen Metalls, der Sulfid-Oxydschicht und der Silikathülle drei miteinander nicht mischbare Flüssigkeiten gebildet haben, über der die Gashülle der Erde schwebte. Die ursprüngliche Verteilung der Elemente in ihnen bestimmt auch den Charakter dessen, was wir heute als typische Verteilung in den verschiedenen Schalen erkennen:

---

[1]) Beyschlag-Krusch-Vogt, Die Lagerst. d. nutzb. Min. u. Gest. I, 2. Aufl., 1914, 160.

[2]) H. S. Washington, Manual of the chemical analysis of rocks, 3. Aufl., 1919, 17—21.

[3]) A. Holmes, Geol. Mag. [6] **2**, 63 (1915).

[4]) Vgl. P. Niggli, Die Naturwiss. **4**, Heft 43, 44, 45 (1916).

[5]) V. M. Goldschmidt, Die Naturwiss. **10**, 918—920 (1922); vgl. dazu die in manchen ähnlichen Gedanken von P. N. Tschirwinsky, Bull. Inst. Sci. du Don, Nowotscherkassk, **7**, 94—164 (1919); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1923, II, 338 ff.

[6]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math-nat. Kl. 1923, Nr. 13; 1924, Nr. 4 und 5.

[7]) V. M. Goldschmidt, loc. cit. 1922, Nr. 10.

[8]) In weitestem Sinne, vgl. Die Naturwiss. **10**, 145—152 (1922).

In der Eisenschmelze:
die siderophilen Elemente Fe Ni Co; P C; Mo(Wo); Pt Jr Os usw.
In der Sulfidschmelze:
die chalkophilen Elemente S Se Te; Fe Mn; Cu Zn Cd Pb usw.
In der Silikatschmelze:
die lithophilen Elemente O; Si Ti Zr; F Cl Br; B Al Sc usw.
In der Dampfhülle:
die atmophilen Elemente H; N; Edelgase.

Die Verteilungsverhältnisse in den vier ursprünglichen Phasen sind variabel mit Druck und Temperatur usw.; die späteren Differentiationen z. B. der lithophilen Elemente in den Magmengesteinen sind die Folge von Kristallisationserscheinungen.

Besonders bei den Accessorien zeigen sich Isomorphiebeziehungen zu den vorherrschenden lithophilen Elementen, welche auch ihre Verteilung wesentlich beeinflussen (s. o.).

Späterhin untersuchte *V. M. Goldschmidt* besonders die Abhängigkeit der geochemischen Verteilungsregeln von dem Atombau der einzelnen Elemente und kommt zu folgenden weitgreifenden Schlüssen:

1. Alle elektropositiven Ionen vom Edelgastypus (also mit Elektronenhüllen, die durch je vierzählige Gruppen von Elektronenbahnen gekennzeichnet sind), gehören lithophilen Elementen an.

2. Alle elektropositiven Ionen vom Cuprotypus (also mit einer äußersten Elektronenhülle, die durch je sechszählige Gruppen von Elektronenbahnen gekennzeichnet ist), gehören chalkophilen Elementen an.

3. Die siderophilen elektropositiven Elemente zeigen im Ionenbau Uebergangstypen zwischen den beiden vorgenannten Typen.

4. Auch für die elektronegativen lithophilen Elemente gilt eine entsprechende Beziehung wie der Satz 1) für die elektropositiven; doch zeigen sich bei den elektronegativen chalkophilen noch nicht geklärte Widersprüche.

5. Die Atome (respektive Moleküle) atmophiler Elemente (auch die Moleküle atmophiler Verbindungen) sind im elektrisch neutralen Zustande durch äußere Elektronenhüllen des Edelgastypus gekennzeichnet.

Die Kurve Fig. 9 (für Atomvolumina und Atomnummern) gibt die verschiedenen Elementtypen nach *V. M. Goldschmidt's* Darstellung wieder. Die siderophilen Elemente haben besonders kleines Atomvolumen, die chalkophilen finden sich in der Regel auf den aufsteigenden Zweigen der Kurve, die lithophilen auf den absteigenden; die atmophilen Elemente finden sich kurz vor den Maxima der Atomvolumenkurve oder an diesen.

Die neueste Abhandlung von *V. M. Goldschmidt* betrifft die röntgenspektrographische Untersuchung über die Verteilung der seltenen Erdmetalle in Mineralien; er kam hierbei auf eine Nachprüfung der Regel von *W. D. Harkins*[1]), nach der Elemente mit ungerader Atomnummer seltener sind

[1]) W. D. Harkins, Journ. Amer. Chem. Soc. **39**, 856 (1917).

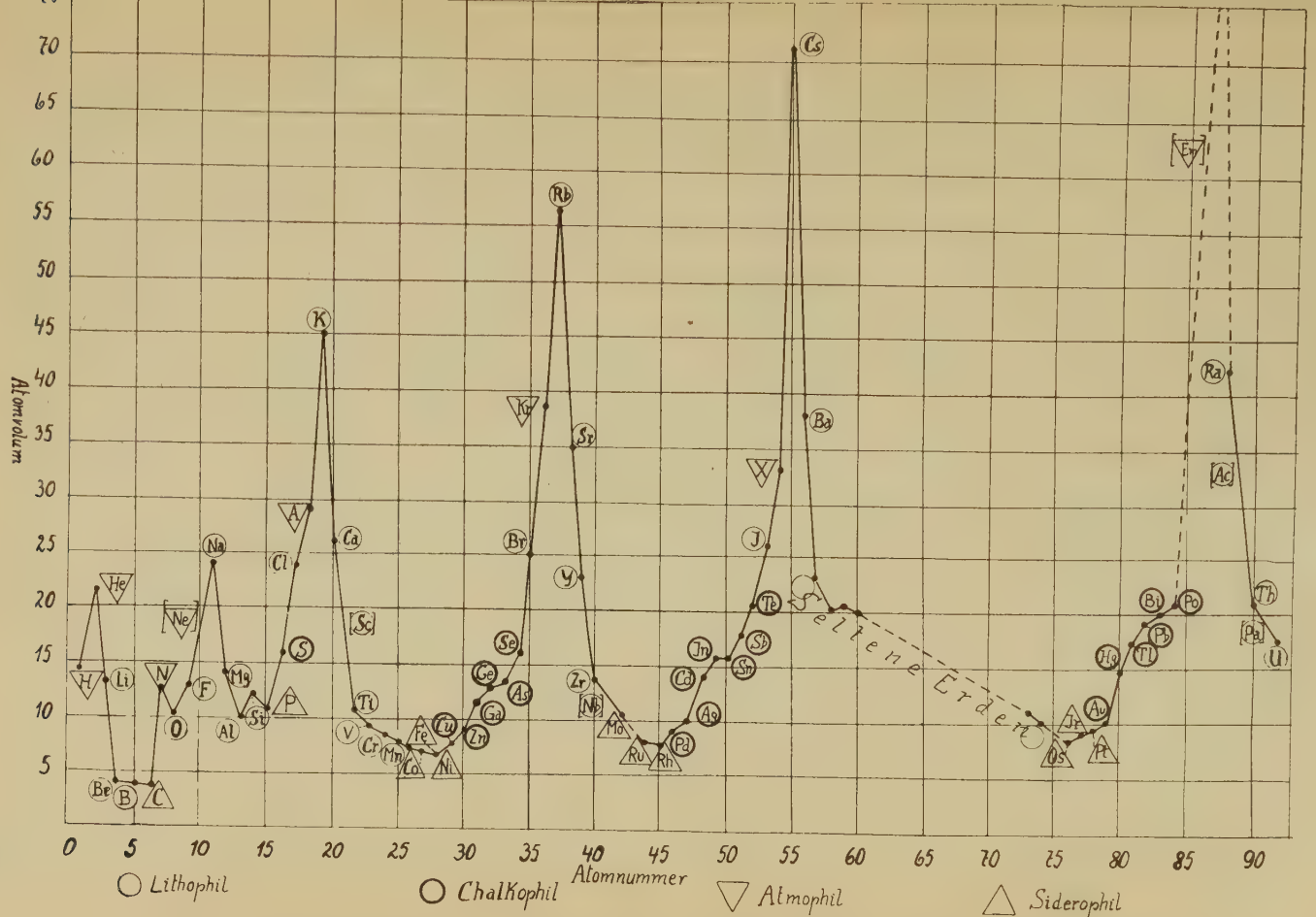


Fig. 9 Verteilung der Elemente in der Erde nach der Atomvolumenkurve (nach V. M. Goldschmidt).

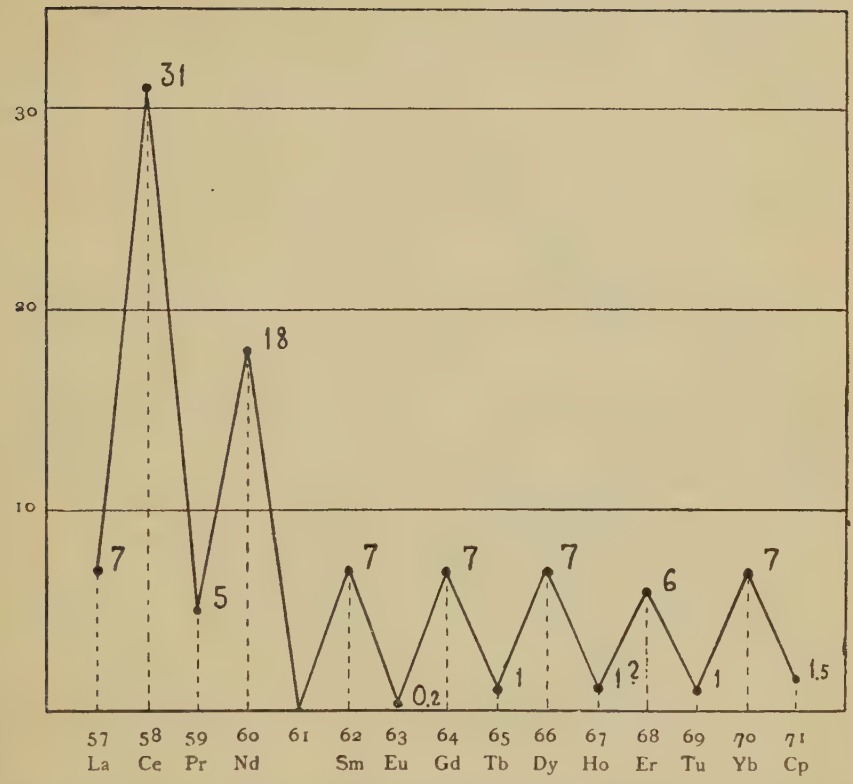


Fig. 10 Verteilung der Elemente der seltenen Erden nach der Harkins'schen Regel (nach V. M. Goldschmidt).

als die Elemente mit gerader, insbesondere jedes einzelne mit ungerader seltener ist als das unmittelbar vorhergehende und das unmittelbar nachfolgende mit gerader. Sie gilt in der Tat (Fig. 10), und zwar sowohl in den frühmagmatischen Kristallisationen (z. B. Apatite) wie anderen (z. B. Bröggerit), welche eine langandauernde radioaktive Einwirkung erfahren hatten. —

II. Spezieller Teil.

Die Kieselsäuremineralien.

Von grundlegender Wichtigkeit ward die Untersuchung von *Cl. N. Fenner*[1]) für die Erkenntnis der relativen Stabilitätsverhältnisse der Kristallarten von SiO_2. Neben der längst bekannten Umwandlung des gewöhnlichen β-Quarzes in die oberhalb 575° stabile α-Form[2]) hat *Cl. N. Fenner* vor allen Dingen die sehr träge verlaufenden Reaktionen

α-Quarz $\rightleftarrows$ α-Tridymit (bei 870° C)
α-Tridymit $\rightleftarrows$ α-Cristobalit (bei 1470° C)
α-Cristobalit $\rightleftarrows$ SiO_2-Schmelze (bei 1625° C)

studiert. Die Angaben des letzteren Schmelzpunktes wurden später von *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin*[3]) revidiert und zu $1710° \pm 10°$ berichtigt. Des weiteren haben die letzteren Autoren auch noch die Reaktionen

α-Tridymit $\rightleftarrows$ SiO_2-Schmelze (bei $1670° \pm 10°$)
α-Quarz $\rightleftarrows$ SiO_2-Schmelze (bei 1470°, unter Umwandlung in α-Cristobalit)

untersucht. Beachtenswert ist die Uebereinstimmung der Angabe von *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin* über den Schmelzpunkt des Cristobalits mit einer von *R. Wietzel*[4]) gegebenen Neubestimmung: $1696 \pm 10°$.

Das Verfahren *Cl. N. Fenner's* zur Bestimmung der Umwandlungspunkte der obengenannten Reaktionen der anisotropen SiO_2-Mineralien ist das der statischen Exposition in Umwandlungskatalysatoren (Na_2WoO_4). Die Schmelzpunkte wurden ebenfalls durch statische Exposition festgelegt; *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin* benutzten einen besonderen Ofen mit Pt-Rh-Draht-Wicklung.

Die glatt verlaufenden enantiotropen Reaktionen

α-Quarz $\rightleftarrows$ β-Quarz (575° C)
α-Tridymit $\rightleftarrows$ β-Tridymit (120° C)
α-Cristobalit $\rightleftarrows$ β-Cristobalit (180—270°)

gehören einem ganz anderen Habitus an, insofern diese keinerlei Trägheitserscheinungen zeigen. Dagegen hat die Umwandlung des Cristobalits

[1]) Cl. N. Fenner, Zeitschr. f. anorg. Chem. **85**, 133 (1914).
[2]) H. Lechatelier (1889).
[3]) J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **46**, 417 (1918).
[4]) R. Wietzel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **116**, 87 ff. (1921).

die Besonderheit, daß sie je nach Vorbehandlung des Präparats bei verschiedenen Temperaturen sich abspielt, worüber *Smits* und *Endell* theoretische Vorstellungen entwickelt haben im Sinne eines mangelnden molekularen Gleichgewichts im festen Zustand.

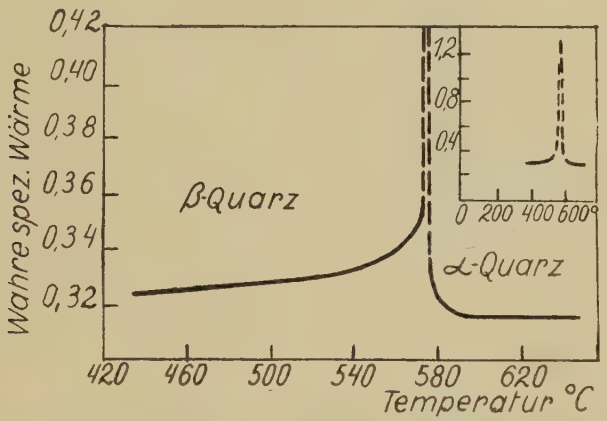


Fig. 11 Wahre spezifische Wärme des Quarzes im Gebiete seiner $\alpha \rightleftarrows \beta$-Umwandlung (nach Perrier und Roux).

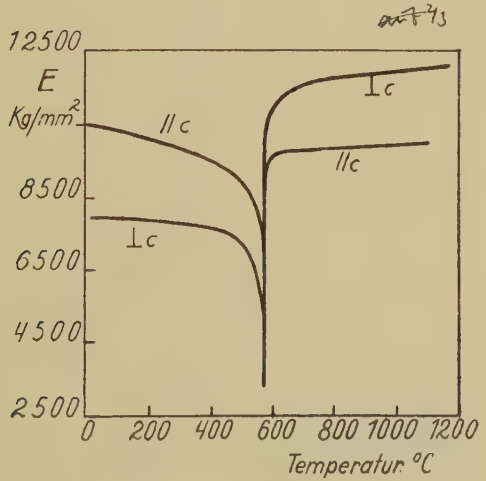


Fig. 12 Aenderung der elastischen Eigenschaften des Quarzes im Gebiet seiner $\alpha \rightleftarrows \beta$-Umwandlung (nach Perrier).

Für die von physikalischer Seite oft untersuchte Umwandlung des $\alpha \rightleftarrows \beta$-Quarzes hat *W. P. White*[1]) durch sorgfältig aufgenommene Er-

[1]) W. P. White, Amer. Journ. of Sci. [4] **47**, 41 (1919).

hitzungskurven die Wärmetönung 7,8 gcal pro g gefunden. Eine besonders sorgfältige Untersuchung der wahren spezifischen Wärme des Quarzes in der Gegend des Umwandlungspunktes gaben *A. Perrier* und Mlle. *H. Roux*[1]), welche in Fig. 11 wiedergegeben ist; auch die Elastizität ändert sich im Umwandlungspunkt stark diskontinuierlich[2]) (Fig. 12). Die starke Zunahme des spezifischen Volumens bei der Umwandlung bei Erhitzung haben *A. L. Day*, *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter*[3]) zahlenmäßig bestimmt[4]).

Eine vollständige Untersuchung des Systems SiO_2 nach den Ansätzen des *Nernst*'schen Wärmetheorems gab *R. Wietzel*[5]); auf Grund seiner Messungen der spezifischen Wärmen der SiO_2-Mineralien und von Kieselglas gibt *R. Wietzel* A-U-Diagramme für die Umwandlungen α-Quarz $\rightleftarrows$ α-Cristobalit (bei ca. 1400°), Quarz $\rightleftarrows$ Kieselglas (ca. 1600°), welche mit den Beobachtungen übereinstimmen. Besonders interessant ist der Charakter der A-U-Diagramme für stark verzwillingten Quarz, dessen Umwandlungspunkt in Cristobalit fast 200° niedriger sich ergibt als bei gewöhnlichen Kristallen. Neuere ausgezeichnete Messungen der spezifischen Wärme des Quarzes bei seiner Umwandlungstemperatur gab *A. Perrier* und Mlle. *H. Roux*[6]).

Obwohl nach *Cl. N. Fenner's* Untersuchungen der Chalcedon vom Quarz sich dadurch unterscheiden soll, daß in ihm keine Spur der Umwandlung bei 575° sich nachweisen ließ, konnte *R. Wietzel* zeigen, daß die Atomwärme des Chalcedons die gleiche Diskontinuität bei 575° aufweist wie die entsprechende Kurve bei Quarz. Mit diesem energetischen Beweis für die Identität des Chalcedons mit Quarz stimmt auch die Beobachtung von *Washburn* und *Navias*[7]) über die physikalischen Eigenschaften des Chalcedons im natürlichen und geglühten Zustand überein. Geglühter Chalcedon geht vermöge seines sehr viel feineren Gefüges in Cristobalit sehr leicht über[8]). Für die Identität des Chalcedons mit Quarz sprechen auch die Röntgenspektogramme von *F. Rinne*[9]). Einen außerordentlich feinkristallinen Quarz, welcher infolge seiner hohen Dispersität optisch isotrop sich verhält, beschrieb *A. N. Winchell*[10]).

Ueber die Kieselgläser liegen interessante neue Beobachtungen von *A. Lacroix*[11]) vor, der dieselben als Lechatelierit in den Fulguriten (Blitzröhren) auffand und auch als Einschmelzungsprodukt vulkanischer

---

[1]) A. Perrier u. Mlle. H. Roux, Mém. Soc. Vaud. Sci. nat. 1923, Nr. 3, 109—136.

[2]) Compt. rend. **175**, 622–624 (1922).

[3]) A. L. Day, R. B. Sosman u. J. C. Hostetter, Amer. Journ. of Sci. [4] **37**, 1 (1914).

[4]) Vgl. auch B. Bogitch, Compt. rend. **173**, 1358—1360 (1921).

[5]) R. Wietzel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **116**, 71—95 (1921).

[6]) A. Perrier u. Mlle. H. Roux, Mém. Soc. Vaud. Sci. nat. 1923.

[7]) Washburn u. Navias, Proc. Nat. Acad. Sci. **8**, 1—5 (1922).

[8]) Siehe auch Journ. Amer. Ceram. Soc. **5**, 565—585 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 22ff.

[9]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 62ff. (1924).

[10]) A. N. Winchell, Amer. Min. **9**, 235—237 (1924).

[11]) A. Lacroix, Bull. Soc. Franç. de Min. **38**, 182, 188 (1915).

Gläser erwähnte, auch als Ueberzug auf von Blitzschlag angeschmolzenen Quarzitbrocken des Hochgebirges. Wie das Kieselglas verhält sich auch die amorphe gefällte Kieselsäure, welche nach dem Entwässern sich bildet. Sie zeigt schon nach verhältnismäßig kurzer Zeit bei höherer Temperatur den Entglasungs-Uebergang in kristallisierten Cristobalit, wie das *S. Kyropoulos*[1]) durch Röntgenaufnahmen nachzuweisen vermochte. Ueber geschmolzenes Kieselglas zu technischen Zwecken siehe auch *E. Thomson*[2]). Eine ausgezeichnete Untersuchung über die thermische Ausdehnung des Kieselglases in großem Temperaturbereich gab *G. E. Merritt*[3]); besonders interessant und bedeutungsvoll für den anomal-assoziierten Zustand des Kieselglases ist die auch schon von *K. Scheel*[4]) gemachte Beobachtung eines Minimums der thermischen Dilatation bei —70° C (siehe Fig. 13a). Auch bei hohen Temperaturen ist das Verhalten des Kieselglases ungewöhnlich (vgl. Fig. 13b).

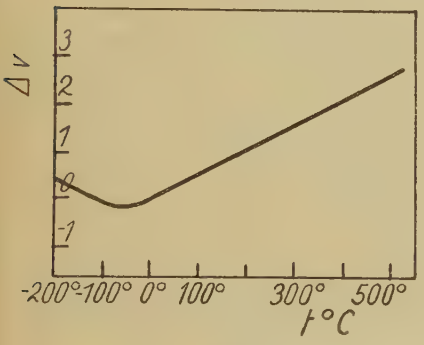


Fig. 13a
Thermische Dilatation des Quarzglases bei tiefen Temperaturen mit Umkehrung bei —70° (nach Daten von Scheel und Merritt).

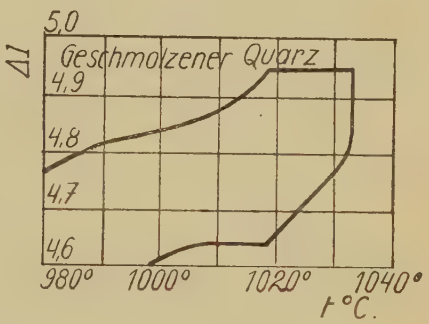


Fig. 13b
Thermische Dilatation des Kieselglases im Gebiet von 980—1040° (nach Merritt).

Das Problem der Stabilität der verschiedenen SiO_2-Mineralien, besonders vom gittertheoretischen Standpunkte aus, erfuhr eine sehr eingehende Behandlung durch *R. B. Sosman*[5]); diese Theorie liefert insbesondere eine hinreichende Erklärung z. B. für das Minimum der Temperatur-Volumenkurve des Kieselglases, die Beziehungen zwischen den spezifischen Wärmen der Kristallarten, den Oberflächenfaktor bei der Umwandlung von Quarz in Cristobalit (besonders durch Verzwillingung, s. o.) und die Tat-

---

[1]) S. Kyropoulos, Zeitschr. f. anorg. Chem. **99**, 197 (1917).
[2]) E. Thomson, Gen. Electr. Rev. **26**, 68—74 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 23.
[3]) G. E. Merritt, Journ. Amer. Ceram. Soc. **7**, 803—808 (1924).
[4]) K. Scheel u. W. Heuse, Verhdl. d. Deutsch. Phys. Ges. **16**, 1 (1914).
[5]) R. B. Sosman, Journ. Frankl. Inst. **194**, 741—764 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 160 ff.

sache, daß der als α-Quarz gebildete natürliche Quarz stets homogen ist, während der hydrothermal sogleich als β-Quarz gebildete r- und l-Verzwillingungen zeigt. Die von *L.W. McKeehan*[1]) neuerdings röntgenographisch gefundene Struktur für den β-Quarz bestätigt dessen physikalisches Verhalten.

Diese letztere Frage hängt auch mit der von *H. Schneiderhöhn*[2]) und neuerdings von *O. Mügge*[3]) eingehend diskutierten zusammen, wie in der Natur die Razemkörper des Quarzes als Parallel- oder Zwillingsverwachsungen von r- oder l-Kristallen entstehen. Der Einfluß von Lösungsgenossen ist dabei ganz besonders zu beachten.

Korund, Al_2O_3. Merkwürdig ist das Ergebnis von *C. A. Rankin* und *H. E. Merwin*[4]) über die Dimorphie des Aluminiumoxydes. Die gewöhnliche α-Form schmilzt nach *C. W. Kanolt*[5]) bei $2050^0 \pm 40^0$; die β-Form entsteht unter dem katalytischen Einfluß von wenig MgO, während die Anwesenheit von CaO und SiO_2 die Bildung von α-Al_2O_3 begünstigen. Wahrscheinlich ist die β-Modifikation monotrop in bezug auf die α-Form; sie kommt in Kunstkorunden der Schleifindustrie häufig vor; hat sie sich einmal gebildet, so kann sie selbst durch Umschmelzen nicht in die α-Form übergeführt werden.

Ueber die Genesis des Korunds in pegmatitischen, aber kieselsäurearmen Magmen besonders der Nephelinsyenitpegmatitreihe hat *P. Niggli*[6]) Vorstellungen entwickelt.

Hämatit, Fe_2O_3. Neben der gewöhnlichen Form vermuten *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter*[7]) die Bildung einer stark ferromagnetischen Modifikation, welche allerdings selten vorkommt[8]). Diese wichtige Spezialarbeit[9]) enthält auch wertvolle Angaben über die Brechungseigenschaften sehr reinen Eisenoxydes, die von denen der natürlichen Kristalle deshalb oft abweichen, weil die meisten der letzteren noch etwas Eisenoxydul enthalten, oft zonenweise verteilt (vgl. dazu die untenstehenden Ausführungen im System $Fe_2O_3 - FeO$).

R. Ruer und *Minoru Nakamoto*[10]) haben festgestellt, daß das reine Eisenoxyd schon bei 1150^0 merkliche Mengen Sauerstoff verliert.

---

[1]) L.W. McKeehan, Phys. Rev. [2] **21**, 503—508 (1923).
[2]) H. Schneiderhöhn, N. Jahrb. 1912, II, 1.
[3]) O. Mügge, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 609—615, 641—648.
[4]) G. A. Rankin u. H. E. Merwin, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 570 (1916); Zeitschr. f. anorg. Chem. **96**, 293 (1919).
[5]) C. W. Kanolt, Zeitschr. f. anorg. Chem. **85**, 15 (1914).
[6]) P. Niggli, Die leichtflücht. Bestandt. d. Magm. (Leipzig 1920), 178 ff.
[7]) R. B. Sosman u. J. C. Hostetter, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 807, 1188 (1916).
[8]) Siehe auch G. Chaudron u. H. Forestier, Compt. rend. **179**, 763, 766 (1924).
[9]) Siehe auch Bull. Amer. Inst. Min. Engin. 1917, 903, 933.
[10]) R. Ruer u. Minoru Nakamoto, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 818—820 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 20 ff.

Periklas, MgO. Schmelzpunkt des reinen Magnesiumoxyds nach *C. W. Kanolt*[1]) zu 2000° ± 13° bestimmt. Verschiedene Kristallausbildung je nach Gegenwart verschiedener Lösungsgenossen (CaO, Al_2O_3) beobachtete *O. Andersen*[2]). Ueber die Translationen der Periklaskristalle siehe *O. Mügge*[3]).

Die pneumatolytische Bildung des Periklas aus $MgCl_2$- und H_2O-Dämpfen untersuchte *G. Cesáro* am Naturvorkommen[4]).

CaO. Schmelzpunkt nach *C. W. Kanolt* (loc. cit.). Kristallform usw. siehe bei *E. S. Shepherd* und *G. A. Rankin*[5]). Wahrscheinlich existieren zwei reguläre Formen des Calciumoxydes, die sich nur sehr wenig voneinander äußerlich unterscheiden[6]); vgl. auch Angaben über eine möglicherweise amorphe Form bei *R. B. Sosman, J. C. Hostetter* und *H. E. Merwin*[7]).

Eis, H_2O. Ausführliche Diskussion besonders über die dihexagonalpyramidale Form des Eises I (nach *G. Tammann*): neuere Angaben von *A. B. Dobrowolski*[8]), *O. Mügge*[9]), *F. Rinne*[10]) und *R. Groß*[11]).

Rutil, Anatas, Brookit, TiO_2. Neuere Bestimmungen und Synthesen stehen aus; *O. Ruff*[12]) fand den Schmelzpunkt bei ca. 1700°.

Baddeleyit, ZrO_2. Schmelzpunkt nach *O. Ruff*[13]) zu 2585° bestimmt; die Möglichkeit der Herstellung hochfeuerfester Materialien aus ZrO_2 hat derselbe Autor wiederholt diskutiert [mit *G. Lauschke*][14]).

Elemente. Kupfer, Cu. Der von *E. Cohen* mit seinen Schülern[15]) gefundene Umwandlungspunkt des Kupfers bei 71,7° ist von *G. K. Burgess* und *J. N. Kellbery*[16]) nicht bestätigt worden[17]).

---

[1]) C. W. Kanolt, Zeitschr. f. anorg. Chem. **85**, 12 (1914).
[2]) O. Andersen, Amer. Journ. of Sci. [4] **39**, 421 (1915).
[3]) O. Mügge, N. Jahrb. 1920, 29 ff.
[4]) G. Cesáro, Riv. min. crist. Ital. **48**, 80 ff. (1917).
[5]) E. S. Shepherd u. G. A. Rankin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 215 (1915).
[6]) Nach J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **48**, 81 (1919).
[7]) R. B. Sosman, J. C. Hostetter u. H. E. Merwin, Journ. Wash. Acad. of Sci. **5**, 568 (1915).
[8]) A. B. Dobrowolski, Ark. f. Kemi **6**, Nr. 7 (1917).
[9]) O. Mügge, Centr.-Bl. f. Min. 1918, 137.
[10]) F. Rinne, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **69**, 57 (1917).
[11]) R. Groß, Centr.-Bl. f. Min. 1919, 201.
[12]) O. Ruff, Zeitschr. f. anorg. Chem. **82**, 393 (1913).
[13]) O. Ruff, loc. cit. 391.
[14]) O. Ruff u. G. Lauschke, loc. cit. **87**, 198 (1914); **97**, 73 (1916).
[15]) Zahlreiche Abhandlungen in der Zeitschr. f. phys. Chem. und Proc. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd., meist vor 1914.
[16]) G. K. Burgess u. J. N. Kellbery, Phys. Rev. **7**, 28 (1916).
[17]) Vgl. auch E. Jänecke, Zeitschr. f. phys. Chem. **90**, 313—339 (1915).

Eisen, Fe, siehe besonders im System Fe—Ni: (Meteoriten).

Platin, Pt. Das Vorkommen des Platins in ultrabasischen Gesteinen wie Olivingabbro und Peridotit[1]) wird durch neuere Beobachtungen in Diabas ergänzt[2]). Der Eisengehalt des natürlichen Platins[3]) wird von *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter*[4]) erklärt durch eine Reduktion von FeO in einer natürlichen Gasatmosphäre, deren Sauerstoff-Partialdruck den Dissoziationsdruck von FeO unterschritt, wie sie aus Versuchen in Platingefäßen im Vakuumofen schließen müssen.

Auch in sauren Gesteinen ist Pt im Verein mit Pd und Au angetroffen worden[5]); ein ganz neuer Bildungstypus scheint der von *P. A. Wagner* und *T. G. Trevor*[6]) beschriebene vom Waterberg-Distrikt zu sein: Quarzgänge pneumatolytisch-hydrothermalen Charakters mit Pt-Gehalt, paragenetisch verbunden mit Hämatit.

Diamant, Graphit, C.

Die wichtigste experimentelle Feststellung seit 1914 ist die Bestätigung und Modifikation des *Moissan*'schen Synthesen-Versuchs durch *O. Ruff*[7]); nach diesem Autor sind bei der Bildung des Diamanten die Drucke im Innern der abgeschreckten Eisenschmelze ohne Belang, auch haben Druckversuche mit hohem hydrostatischen Druck keinen begünstigenden Einfluß auf die Bildung des Diamanten gezeigt. In gleichem Sinne nimmt auch *C. A. Parsons*[8]) an, daß der Druck bei der Bildung des Diamanten nicht wesentlich sei. *O. Ruff* hat die Ungenauigkeiten bei vielen älteren synthetischen Versuchsergebnissen zur Diamant-Bildung nachgewiesen. Neuartig sind *Ruff's* außerordentlich kühne Versuche der Abschreckung des Kohlenstoffdampfes in flüssiger Luft; sie führten zur Bildung kleiner, wohlausgebildeter Diamantkriställchen.

Die Bildung des Diamanten im Cañon Diablo-Meteoreisen führt *St. Meunier*[9]) auf die starke Erhitzung des riesigen Meteoriten zurück, der nach der Theorie von *D. M. Barringer* und *B. C. Tilghman* [1906][10]) in den Krater des Mt. Coon stürzte. Das so besonders wichtige Auftreten des

---

[1]) Vgl. vom Ural: L. Duparc c. s., Mém. de la soc. de phys. et d'hist. nat. Genève **38** (1916).

[2]) cf. E. M. Weston, Engin. Min. Journ. **112**, 815 (1921); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 32.

[3]) Vgl. das System Pt-Fe nach G. Tammann und E. Isaac (1907).

[4]) R. B. Sosman und J. C. Hostetter, Journ. Wash. Acad. of Sci. **5**, 293 (1915); Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 807 (1916).

[5]) So in Granitporphyr, vgl. A. Knopf, Bull. U. S. Geol. Surv. **620** (1915).

[6]) P. A. Wagner u. T. G. Trevor, South Afr. Journ. of Industr. **6**, 577—597 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 47 ff.

[7]) O. Ruff, Zeitschr. f. anorg. Chem. **99**, 73 (1917).

[8]) C. A. Parsons, Phil. Transact. **220**, 67—107 (1919); Journ. Inst. Met. **20**, 5—24 (1918).

[9]) St. Meunier, Compt. rend. **162**, 171 (1916).

[10]) Ferner Proc. Acad. Nat. Sci. Philad. **66**, III, 556—565 (1914); s. a. H. J. Sjögren, K. Svenska Vetensk. Akad. Arsbok (1911).

Diamanten in den „pipes“ von Südafrika ist noch immer ein Rätsel[1]). Die eigentümliche Erscheinung des Berstens vieler Diamanten und das häufige Vorkommen von Spaltstücken[2]) macht das Problem komplizierter, insofern eine Bildung in situ sehr unwahrscheinlich sein muß. Ob damit etwa im Sinne der Annahme von *Ch. H. Parsons*[3]) etwas erreicht wird, daß nämlich der Diamant aus kohlenstoffhaltigen Gasen, ohne bestimmende Wirkung des Druckfaktors, gebildet sei, steht dahin. In seinen schönen Studien über den Stoffwechsel der Erde[4]) hat *V. M. Goldschmidt* neuerdings das Diamantproblem aufgegriffen und auf die merkwürdigen Eklogitknollen hingewiesen, die als versprengte Zeugen einer sehr tiefgelegenen Eklogitschale des Erdinneren betrachtet werden; der Genannte berechnet, daß der Diamant in ca. 60—100 km Tiefe gebildet sein muß.

Interessante Beobachtungen über das radioaktive Verhalten des Diamanten führen *S. C. Lind* und *D. C. Bardwell*[5]) zu dem Ergebnis, daß die α-Strahlung den Diamant allerdings nur sehr oberflächlich in Graphit verwandle. Die Genannten erklären so die „Kohlenflecken“ mancher Naturvorkommnisse; dagegen könnte freilich das Verschwinden solcher Flecken beim gelinden Erhitzen sprechen. Ob vielleicht die natürlichen Diamant-Kohlenflecken durch Zerfall von Gaseinschlüssen, etwa von CO_2 gebildet seien, steht dahin.

Ueber die andere kristallisierte Modifikation des Kohlenstoffs, den Graphit, liegen sehr eingehende neuere Untersuchungen vor. So hat zunächst *P. Gaubert*[6]) die optische Homogenität kristallisierten Graphits als Erster zweifelsfrei nachzuweisen vermocht. Dies steht den Anschauungen von *V. Kohlschütter*[7]) entgegen, welche diesen zur Annahme eines fast kontinuierlichen Uebergangs von dem amorphen Kohlenstoff zu dem graphitischen veranlaßt; die kristallisierte Phasenbeschaffenheit des Graphits erklärt *V. Kohlschütter* daher als durch nichts bewiesen, als durch die röntgenographischen Studien am Graphit[8]), welche auch bei amorpher Kohle ein sehr feinkörniges Graphitgefüge ergaben. Es gibt eben eine große Zahl typischer Graphitvorkommnisse, welche nach ihrem äußeren Ansehen völlig amorph erscheinen, so das Graphitoid oder der Schungit, während Retortengraphit wirklich nur Kohle zu sein scheint, keine Graphitsäure jedenfalls liefert. Achesongraphit ist in allen Formen zwischen dem Typus eines echten Zeylongraphits und amorpher Kohle erhältlich, Aze-

---

[1]) Vgl. O. Stutzer, Geol. Rdsch. **6**, 24 (1915); über neuere, genetisch den südafrikanischen Vorkommnissen analoge von Arkansas siehe H. D. Miser und C. S. Ross (Econ. Geol. **17**, 662—674 (1922).

[2]) Vgl. a. J. R. Sutton, Transact. Roy. Soc. of S. Africa **8**, 2; Chem. News **120**, 303 (1920); Ref. N. Jahrb. 1923, II, 317.

[3]) Ch. H. Parsons, Rev. génér. d. sc. pures et appl. **29**, 327 (1918).

[4]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skr. I, math.-naturw. Kl. **10** (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 45 ff.

[5]) S. C. Lind u. D. C. Bardwell, Amer. Min. **8**, 201—209 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 162.

[6]) P. Gaubert, Compt. rend. **177**, 1123—1125 (1923).

[7]) V. Kohlschütter, Zeitschr. f. anorg. Chem. **105**, 35—68 (1919) und P. Hänni, loc. cit. 121.

[8]) Debye u. Scherrer, Phys. Zeitschr. **17**, 277 (1916).

tylenruß immer graphitisch. Graphit ist demnach nach *V. Kohlschütter* nur eine spezifische Erscheinungsform des schwarzen Kohlenstoffs, welcher im Gegensatz zu der farblosen Modifikation Diamant steht. Wesentlich ist der aus den *Kohlschütter*'schen Versuchen sich ergebende Schluß, daß die flächenhafte Begrenzung des Reaktionsortes, also eine rein „topochemische" Wirkung die Art der künstlichen wie natürlichen Synthese des Graphits bedingt; dies stimmt besonders gut zu der Anschauung von *E. Weinschenk*, daß die gangförmigen Graphitvorkommnisse des Graphits durch Zersetzung von Metallkarbonyldämpfen gebildet wurden.

Mit den älteren Untersuchungen von *Luzi*[1]) hängen diese Versuche von *V. Kohlschütter* gleich neueren von *K. A. Hofmann* und *C. Röchling*[2]) innig zusammen; die letzteren konnten eine ganz besonders dichte, in der Härte fast den Quarz erreichende Varietät des kristallisierten schwarzen Kohlenstoffs darstellen, bei starker Erhitzung und nachfolgender Abschreckung selbst Spielarten, die den Topas und Korund an Härte übertrafen (sogenannte Glanzkohle). Strukturell steht diese dem Graphit näher als dem Diamant (nach *Schiebold's* Untersuchung des Röntgenspektrums), doch ist sie zweifellos schon als eine Art von Uebergang zwischen beiden Kristallarten bemerkenswert. Die ältere Angabe von *Debye* und *Scherrer*[3]), daß das Gitter durch verhältnismäßig geringe mechanische Kräfte „komprimiert" werden könne, hat *F. Rinne*[4]) neuerdings nachgeprüft, aber durchaus nicht bestätigt gefunden.

Die Stabilitätsbeziehungen von Graphit und Diamant zueinander waren auch in neuester Zeit wiederholt Gegenstand der Untersuchungen. Besonders *G. Friedel*[5]) gelang es zu zeigen, daß die schwarzen Einschlüsse in Kapdiamanten aus Graphit (nicht wie *E. Cohen* annahm, aus Fe_2O_3) bestehen, wonach geschlossen werden kann, daß hier bereits partiell der Uebergang in die stabile Modifikation eingesetzt haben müsse. Neuere Untersuchungen von *G. Friedel* und *G. Ribaud*[6]) ergaben in Uebereinstimmung mit den bekannten Versuchen von *H. Moissan*, *C. Doelter* u. a einen Umwandlungspunkt des Diamanten zu Graphit bei ca. $1885^0 \pm 5^0$, bei dem der Diamant eine starke Volumendiskontinuität erfährt. Der Uebergang in Graphit findet oberhalb 1900^0 sehr rasch statt, wohl infolge großer Oberflächenentwicklung. Von großem Interesse sind die Untersuchungen von *W. Gerlach*[7]) über schwarze Diamanten, welche als ein Gemenge von Diamant- und Graphit-Substanz röntgenographisch erkannt wurden.

Die mittelbaren Gleichgewichtsbestimmungen durch Gasdruckmessung bei gekoppelten Reaktionen der Kohlenoxyde untereinander und mit Eisen (Verfahren von *R. Schenck* und *W. Heller*) haben durch *V. Falcke's* Kritik an

---

[1]) Luzi, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **25** (1892).
[2]) K. A. Hofmann u. C. Röchling, loc. cit. **56**, 2071—2076 (1923).
[3]) Debye u. Scherrer, Physik. Zeitschr. **18**, 291 (1917).
[4]) F. Rinne, Centr.-Bl. 1924, 513—515.
[5]) G. Friedel, Compt. rend. **177**, 1085—1087 (1923).
[6]) G. Friedel u. G. Ribaud, loc. cit. **178**, 1126—1129 (1924); ferner P. Lebeau u. M. Picon, loc. cit. **179**, 1059—1061 (1924).
[7]) W. Gerlach, Zeitschr. f. anorg. Chem. **137**, 331ff. (1924).

den Voraussetzungen *Schenck's*[1]) erheblich an Bedeutung eingebüßt. Bei weitem wichtiger sind die Berechnungen auf Grundlage thermischer Daten[2]) unter Zuhilfenahme des Wärmetheorems von *Nernst*. *H. E. Boeke*[3]) hat berechnet, daß die Umwandlungsaffinität für die Reaktion Graphit → Diamant bei $T = 0^0$ negativ ist und mit zunehmender Temperatur immer stärker negativ wird, d. h. der Diamant ist total instabil. Zu praktisch den gleichen Ergebnissen kommt auch Frl. *H. Miething*[4]). Ob nun ein Stabilitätsfeld des Diamanten etwa bei hohen Drucken erreicht wird, ist eine oft diskutierte Frage[5]); in die Affinitätsgleichung ist alsdann auch die Ausdehnungsarbeit miteinzurechnen, was bei unseren geringen Kenntnissen der Druckkoeffizienten der spezifischen Volumina von Diamant und Graphit nicht genau durchführbar ist. Besonders die Ueberschlagsrechnungen unter vereinfachenden Annahmen nach Frl. *H. Miething's* Vorgang können es verständlich machen, daß doch bei sehr hohen Drucken eine Umwandlung in Graphit reversibel sich gestaltete. Auch kann man wie *E. Baur* c. s. annehmen, daß die A-Kurve weniger steil gegen die T-Achse liegt, und oberhalb 1000^0 abs. die spezifische Wärme des Diamanten größer wird als diejenige des Graphits, worauf sich ein Schnittpunkt der A-Kurve mit der T-Achse, d. h. ein Umwandlungspunkt bei ca. 5000^0 abs. ergibt, sowie ein Maximum der Umwandlungsdruckkurve bei ca. 2300^0 abs. und 35 000 atm. Druck. Das Existenzbereich des Diamanten entspräche alsdann bestimmten großen Erdtiefen; doch haben alle Experimentalversuche in entsprechender Richtung gleich den *O. Ruff*'schen (s. o.) nur Negatives ergeben.

Betrachtet man weiterhin den Diamanten als total instabile Phase, so ist dennoch seine zufällige Bildung nach der *Ostwald*'schen Stufenregel durchaus nicht ausgeschlossen; auch könnte man, wie das *G. Tammann*[6]) ausführte, einen Katalysator für die Diamantbildung finden, wie *W. Denecke* s. Zt. für das Eis V einen solchen im NH_4Cl antraf[7]).

Viel diskutiert ist auch die Berechnung des Sublimationspunktes des Kohlenstoffs bei extrem hohen Temperaturen, sowie des Schmelzpunktes von Graphit. Die Verdampfungswärme des Kohlenstoffs findet *De Forcrand*[8]) zu 172 000 cal, die Sublimationstemperatur zu 4190^0 abs., während *J. J. van Laar*[9]) für letztere $5010—5050^0$ abs. angibt[10]). Neuerdings haben auch

---

[1]) Vgl. Zeitschr. f. Elektrochem. **21**, 37 (1914); **22**, 121 (1915).

[2]) Der Verbrennungswärmen von Diamant und Graphit nach W. A. Roth u. H. Wallasch, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **46**, 896 (1913); Zeitschr. f. Elektrochem. **22**, 1 (1915); Chem. Ztg. **38**, 697 (1914).

[3]) H. E. Boeke, Centr.-Bl. f. Min. 1914, 321.

[4]) Frl. H. Miething, Diss. (Berlin 1918); Abhandl. d. Bunsenges. Heft 9 (Halle 1918).

[5]) Vgl. besonders G. Tammann, Die Aggreg.-Zust. 1922, 180ff., besonders auch E. Baur, K. Sichling, E. Schenker, Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 313 (1915); W. Eitel, Fortschr. d. Min. **8**, 37ff. (1923).

[6]) G. Tammann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **115**, 155—158 (1921); Aggreg.-Zust. 1922, 180ff.

[7]) W. Denecke, Zeitschr. f. anorg. Chem. **108**, 35 (1919).

[8]) De Forcrand, Compt. rend. **178**, 1868—1871 (1924).

[9]) J. J. van Laar, loc. cit. 2251.

[10]) Vgl. dessen Buch „Die Zust.-Gleichg. d. Gase u. Flüssigkeiten" (Leipzig 1924), besonders 265—282, 351—354.

K. Fajans und *E. Ryschkewitsch*[1]) den Schmelzpunkt des Graphits zu nur $3800^0 \pm 100^0$ berechnet, wogegen *J. A. M. van Liempt*[2]) Bedenken erhoben hat, da er die beobachteten Erscheinungen nicht auf Schmelzung, sondern auf Sublimation zurückführen muß. Weitere diesbezügliche Untersuchungen siehe bei *A. Thiel* und *F. Ritter*[3]) mit interessanten Angaben über die dendritischen Bildungen bei der Sublimation der Kohle.

Die Aluminiumsilikate. System SiO_2—Al_2O_3.

Die Frage nach der Stabilität der Aluminiumsilikate Disthen, Andalusit, Sillimanit ist neuerdings von verschiedenen Seiten bearbeitet worden. Tatsache ist nach *G. Klemm*[4]), daß die von *H. Eisele*[5]) beschriebenen angeblichen Verwandlungen von Andalusit in Disthen nicht der Wirklichkeit entsprechen.

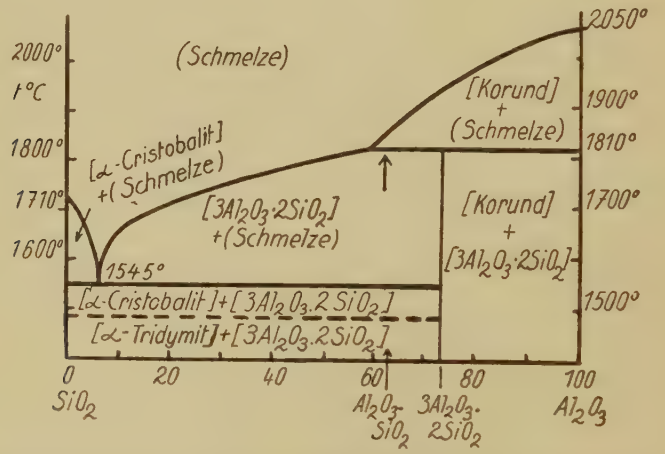


Fig. 14 System SiO_2 — Al_2O_3 mit Mullit (nach Bowen und Greig).

Das von *E. S. Shepherd* und *G. A. Rankin*[6]) gegebene Diagramm des Systems SiO_2—Al_2O_3 wurde von *G. A. Rankin* noch 1915[7]) wiederholt. Es wird von Grund auf geändert durch die neue Untersuchung von *N. L. Bowen* und *J. W. Greig*[8]), welche in Fig. 14 wiedergegeben sei. Entgegen

---

[1]) K. Fajans u. E. Ryschkewitsch, Die Naturwiss. **12**, 304—306 (1924).
[2]) J. A. M. van Liempt, loc. cit. 578.
[3]) A. Thiel u. F. Ritter, Zeitschr. f. anorg. Chem, **132**, 125—158 (1924).
[4]) G. Klemm, Monatsber. d. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **68**, 86 (1915).
[5]) H. Eisele, N. Jahrb. 1908, I, 91; 1909, II, 65.
[6]) E. S. Shepherd u. G. A. Rankin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **68**, 379 (1910); **71**, 22 (1911).
[7]) G. A. Rankin, loc. cit. **92**, 213—296 (1915).
[8]) N. L. Bowen u. J. W. Greig, Journ. Amer. Ceram. Soc. **7**, 238—254 (1924); W. Eitel, Ref. Keram. Rundsch. **32**, 470—473 (1924).

allen früheren Angaben[1]), daß reine Tonerdesilikatschmelzen, auch Porzellane, Kaoline usw. nach scharfem Brennen eine dem Sillimanit entsprechende Kristallart liefern, stellen die genannten Forscher fest, daß allein ein Silikat $3Al_2O_3 . 2SiO_2$ (Mullit genannt) stabil bei gewöhnlichem Druck sein könne, daß also auch der natürliche Sillimanit beim Erhitzen auf mindestens 1540° gleich Disthen und Andalusit in diesen Mullit und eine SiO_2-reichere Schmelze sich spalten müsse. Damit stimmt, daß alle früheren Angaben der Brechungseigenschaften künstlicher „Sillimanite", die in Wirklichkeit dem Mullit eignen, zu niedrig gegenüber dem natürlichen Sillimanit erscheinen. Allein gelegentliche eisenreiche Mullite[2]) zeigen höhere, dem echten Sillimanit nahestehende Werte[3]).

Wichtige Ergänzungen dazu lieferten Beobachtungen des Uebergangs auch von Andalusit und Disthen ebenfalls in Mullit und SiO_2-Glas, die *A. B. Peck*[4]) mitteilte, wo besonders auch die Volumenbeziehungen berücksichtigt sind[5]).

Mit Zugrundelegung des *Nernst*'schen Wärmetheorems hat neuerdings *F. Neumann* und *W. Eitel*[6]) das Problem der Stabilität der Aluminiumsilikate in Angriff genommen; die ähnlich den *Wietzel*'schen Untersuchungen an den SiO_2-Mineralien angelegten Versuche und Messungen ergeben, daß Disthen (wie Diamant im System C) mit zunehmender Temperatur immer instabiler wird (A-Kurve nach immer höheren negativen Werten ansteigend), daß aber Andalusit und Sillimanit bei ca. $1475° \pm 75°$ sich ineinander umwandeln müßten. Die Beobachtungen ergeben freilich, daß bei Atmosphärendruck bei natürlichem Material bereits der Zerfall in Mullit + SiO_2-Glas einsetzt. Jedenfalls ist der Sillimanit als die bis zum Zerfall stabilste Phase erwiesen.

Eisensilikate des Systems SiO_2—FeO. Ein nur hypothetisches Zustandsdiagramm dieses Systems gibt *H. von Eckermann*[7]) auf Grund seiner Beobachtungen an Naturvorkommen der Ferrosilikate. Bezüglich des künstlichen Metasilikates $FeO . SiO_2$ sei auf die Untersuchungen von *St. Kallenberg*[8]) hingewiesen; *H. Michel*[9]) führte einige Zonarstrukturen an künstlichen Fayaliten auf randliche Oxydationen zurück.

---

[1]) Zuletzt noch bei A. Klein, Journ. Wash. Acad. Sci. **6**, 653 (1916).

[2]) Z. B. der von W. Eitel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **88**, 173 (1914), erwähnte aus Eisenthermitabbränden.

[3]) Siehe dazu N. L. Bowen, J. W. Greig u. E. G. Zies, Journ. Wash. Acad. Sci. **14**, 183—191 (1924). Ueber technische Anwendung des Mullits siehe z. B. H. Wilson, Cl. E. Sims u. Fr. W. Schroeder, Journ. Amer. Ceram. Soc. **7**, 842 - 855 (1924).

[4]) A. B. Peck, Amer. Min. **9**, 126—129 (1924).

[5]) Vgl. W. Eitel, Ref. Keram. Rundsch. **32**, 562ff. (1924).

[6]) F. Neumann u. W. Eitel, Publikation im Druck.

[7]) H. von Eckermann, Geol. Fören. Förhdl. **44**, 274 (1922).

[8]) St. Kallenberg, Zeitschr. f. anorg. Chem. **88**, 363 (1914).

[9]) H. Michel, Tscherm. Min. Mitt. **32**, Heft 6 (1914).

Die als Klinohypersthen gedeutete Kristallart [1]) hat *H. S. Washington*[2]) auf gewöhnlichen Pyroxen zurückgeführt.

Magnesiumsilikate des Systems SiO_2—MgO. Die Untersuchung des Zustandsdiagramms wurde von *N. L. Bowen* und *O. Andersen*[3]) durchgeführt; es enthält als Kristallarten nur Forsterit und Klinoenstatit neben den SiO_2-Kristallarten. Außerordentlich wichtig ist die inkongruente Schmelzbarkeit des Klinoenstatits; umgekehrt die Resorption primär ausgeschiedenen Forsterits durch Reaktion mit der SiO_2-reicheren Schmelze, welche unter Neubildung des Klinoenstatits bei Abkühlung unter Ungleichgewichten (fraktionierter Kristallisation nach *Bowen*'s Bezeichnungsweise) zu Differenzierungen eines sauren Schmelzrestes gegenüber einem peridotitisch-basischen Erstausscheidungsprodukt führt. Die hohe Bedeutung dieses „Reaktionsprinzips" („*Bowen-Andersen*-Effektes") in der physikalisch-chemischen Petrologie ist in der gesamten neueren Literatur erkannt worden (s. u.).

Ueber die Polymorphie der Magnesiasilikate ist allein als sicher bekannt, daß der Klinoenstatit bei hohen Temperaturen allein stabil ist; der rhombische Enstatit könnte eine Bildung niederer Wärmegrade sein; seine Beziehungen zum Klinoenstatit vom Standpunkte der „polysymmetrischen" Erscheinungen ist noch nicht geklärt. Der Anschauung von *H. Michel* (1913), daß die gröberen Zwillingslamellen der meteoritischen Klinoenstatite eine Folge schneller Abkühlung seien, steht eine neuere Beobachtung von *N. L. Bowen*[4]) entgegen, nach der gerade die langsam abgekühlten $MgO \cdot SiO_2$-Schmelzen grob-verzwillingten Klinoenstatit aufweisen. Auch über die Symmetrie, vielleicht Polysymmetrie des Kupfferits ist noch keine Klarheit; die Zuteilung des Minerals zur rhombischen oder monoklinen Symmetrie ist in der Literatur auch neuerdings verschieden gehandhabt.

Calciumsilikate des Systems SiO_2—CaO. Die vollständige Untersuchung von *E. S. Shepherd* und *G. A. Rankin* (1911) wurde 1915[5]) revidiert; so besonders auch bei *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin*[6]), welche die Mischkristallbildung von α- und β-$CaO \cdot SiO_2$ mit CaO und SiO_2 eingehend untersuchten.

Von sehr erheblichem Interesse ist die Beobachtung des reinen „Kalkolivins" $2CaO \cdot SiO_2$ in der β-Modifikation in Nephelin-Eudialyt-Basalt, welche *F. Paul* schon 1906[7]) aus Tasmanien erwähnt, ohne das Mineral als solches erkannt zu haben; nach den Beobachtungen von *N. L. Bowen*[8])

---

[1]) Vgl. J. A. Allan, Mem. Can. Geol. Surv. **55**, 169 (1914).
[2]) H. S. Washington, Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 323—338 (1916).
[3]) N. L. Bowen u. O. Andersen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **87**, 283 (1914).
[4]) N. L. Bowen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **90**, 54 (1914).
[5]) E. S. Shepherd u. G. A. Rankin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 217.
[6]) J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **48**, 81, 165 (1919).
[7]) F. Paul (Tscherm. Min. Mitt. **25**, 309 (1906).
[8]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 31 (1922).

ist an der Identität dieses Körpers mit dem synthetischen β-$2\,CaO\,.\,SiO_2$ kein Zweifel, und das Vorkommen entspricht durchaus den extrem basischen Melilith-Monticellit-Chrysolith-Alnöiten des von *N. L. Bowen* untersuchten Gebietes der Monteregian Hills, Kanada.

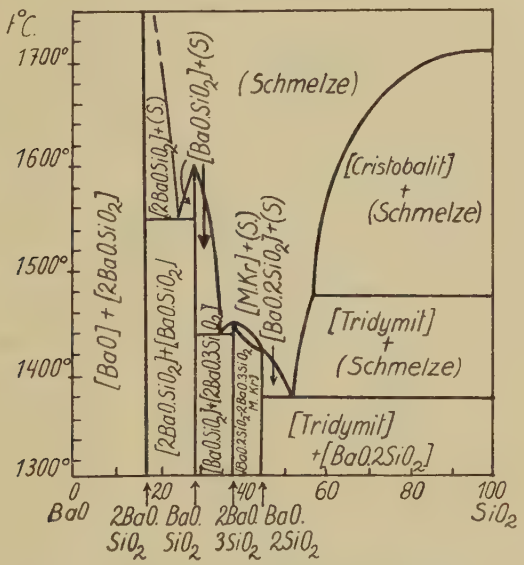


Fig. 15 System SiO_2 — BaO (nach Eskola).

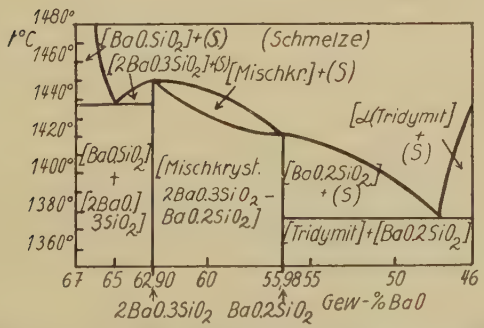


Fig. 15a Ausschnitt aus dem Zustandsdiagramm des Systems SiO_2 — BaO nach Eskola mit dem Mischkristallgebiet zwischen den Verbindungen $2\,BaO\,.\,3\,SiO_2$ und $BaO\,.\,2\,SiO_2$.

Die Systeme SiO_2—SrO und SiO_2—BaO (Fig. 15, 15a, 16) unterscheiden sich nach den neueren statischen Untersuchungen von *P. Eskola* [1]) in vielen

[1]) P. Eskola, Amer. Journ. of Sci. [5] 4, 331—375 (1923).

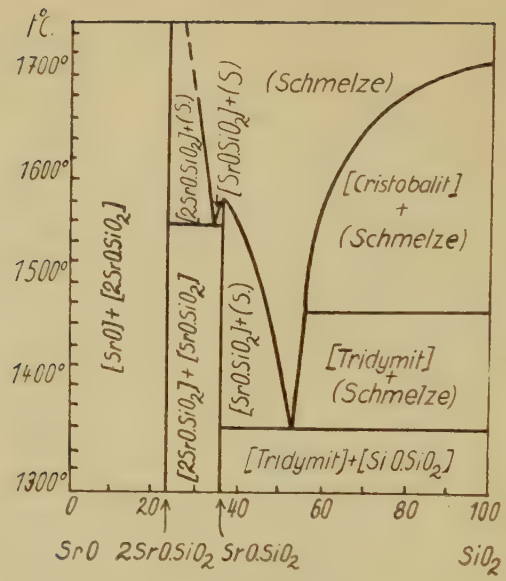


Fig. 16 System SiO_2—SrO (nach Eskola).

Beziehungen von dem System SiO_2—CaO, so z. B. durch das Auftreten von Disilikaten (BaO . 2 SiO_2), Mischkristallen (Reihe BaO . 2 SiO_2—2 BaO . 3 SiO_2 in lückenloser Reihe), Fehlen anderer Typen und der charakteristischen mannigfachen Polymorphieen der Calciumsilikate. Die Arbeit enthält interessante Betrachtungen über die Isomorphie-Beziehungen unter den Ca—Sr—Ba-Silikaten; es scheint die Regel zu bestehen, daß in solchen Verbindungen sich das Calcium durch Ba und Sr ersetzen läßt, in denen es isomorph auch durch Mg oder Fe^{II} ersetzt werden kann.

Das System SiO_2—MnO wurde nach *Doerinckel's* Vorarbeit (1911) neuerdings in einzelnen Fixpunkten durch *F. M. Jaeger* und *H. S. van Klooster* [1]) ergänzt. Optische Untersuchungen am Tephroit stellte *H. Magnussohn* [2]) an, wobei namentlich auf die Isomorphie-Beziehungen zum Magnesiaolivin Rücksicht genommen wurde.

Die Silikate des Systems SiO_2—Li_2O haben *F. M. Jaeger* und *H. S. van Klooster* [3]) in ihren Schmelzgleichgewichten sorgfältig bestimmt, wobei die Flüchtigkeit des Lithions große Schwierigkeiten verursachte.

[1]) F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **24**, 921 (1915).
[2]) H. Magnussohn, Geol. Foren. Förhdl. **40**, 601 (1918).
[3]) F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **22**, 900—923 (1914).

Der Schmelzpunkt von $Li_2O . SiO_2$ ist ein ausgezeichneter Fixpunkt [1202° ± 1°] [1]).

Berylliumsilikate des Systems SiO_2—BeO haben *F. M. Jaeger* und *H. S. van Klooster* [2]) ebenfalls untersucht; doch liegen die Schmelzpunkte jedenfalls sehr hoch.

Zirkon im System SiO_2—ZrO_2. Nach Versuchen *C. Doelter's* [3]) ist es wohl möglich, daß der Zirkon mit SiO_2 Mischkristalle zu bilden vermag. Bei 1800—1900° dissoziiert der Zirkon in SiO_2-Dampf und Bildung eines Rückstandes von festem ZrO_2, wie das *C. Matignon* [4]) beobachtet hat.

Ganz besonderes Interesse vom physikalisch-chemischen Standpunkte aus gewann der Zirkon durch die Entdeckung des Elementes der Atomnummer 72 („Hafnium") nach *De Coster* und *G. von Hevesy* [5]). Die Verbreitung des Hafniums im Zirkon (besonders in der Alvit genannten Varietät) und anderen Zr-Mineralien ist eine sehr große, gewöhnlich sogar bis zu 5—10 Proz.; speziell stellten *V. M. Goldschmidt* und *L. Thomassen* [6]) fest, daß die so auffallenden Schwankungen des spezifischen Gewichts bei verschiedenen Zirkon-Varietäten sich auf die Anwesenheit dieses Elementes beziehen könnten, und eine Vermutung von *Stevanovic* (1903) wird dadurch bestätigt, daß ein damals unbekanntes Element die Ursache sei. Alvit und Malakon sind „metamikte", d. h. isotrop gewordene Zirkone [7]).

Das System Al_2O_3—MgO ist auf Grund der älteren Versuche von *E. S. Shepherd* und *G. A. Rankin* (1909) neuerdings von *G. A. Rankin* und *H. E. Merwin* untersucht worden [8]). Der Spinell $MgO . Al_2O_3$ ist kongruent schmelzbar und bildet mit α-Korund (s. o.) scheinbar eine fast vollständige Reihe von Mischkristallen, mit β-Al_2O_3 dagegen keine festen Lösungen; doch nimmt anderseits β-Al_2O_3 etwas Spinell auf, nicht aber α-Al_2O_3.

Die Aluminate des Systems Al_2O_3—CaO haben durch neuere Forschungen von *G. A. Rankin* und *H. E. Merwin* [9]) eine eingehende Unter-

---

[1]) Vgl. auch R. Schwarz, Zeitschr. f. anorg. Chem. **115**, 87—99 (1921).

[2]) F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster, loc. cit. **24**, 9, 21 (1915).

[3]) C. Doelter, Die Naturwiss. **6**, 289, (1918).

[4]) C. Matignon, Compt. rend. **177**, 1290—1293 (1923).

[5]) De Coster u. G. von Hevesy, Diskussion mit Urbain-Danvillier, das sogenannte Keltium usw. betreffend, siehe Nature **111**, 1348 ff. (1923). Siehe ferner über die Verbreitung des Hafniums in Zirkon-Mineralien G. v. Hevesy und v. Thal Jantzen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **133**, 113—118 (1924); **136**, 387 bis 392 (1924).

[6]) V. M. Goldschmidt u. L. Thomassen, Norsk Geol. Tidskr. **7**, 61—68 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 141 ff.

[7]) Vgl. V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math.-natw. Kl. 1924, Nr. 5, 52; vgl. auch O. Mügge, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 758.

[8]) G. A. Rankin u. H. E. Merwin, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 571 (1916); Zeitschr. f. anorg. Chem. **96**, 295 (1916).

[9]) G. A. Rankin u. H. E. Merwin, loc. cit.; siehe ferner A. L. Day, Fortschr. d. Min. **4**, 154 (1914).

suchung ihrer Schmelzgleichgewichte erfahren. Ueber das Tricalciumaluminat $3\,CaO\,.\,Al_2O_3$, welches in der Theorie der Portlandzementklinker eine wesentliche Rolle spielt, siehe speziell eine Untersuchung von *E. D. Campbell*[1]).

Die Aluminate der Systeme $Al_2O_3-Li_2O$ und $Al_2O_3-Na_2O$ sind von *F. M. Jaeger* und *H. S. van Klooster*[2]), sowie *A. Simek*[3]) im Zusammenhang des Systems $SiO_2-Al_2O_3-Li_2O$ untersucht, und *C. Matignon*[4]) bestimmte den Schmelzpunkt des Natriumaluminats $Na_2O\,.\,Al_2O_3$ zu 1650°.

Die Eisenoxyde des Systems Fe_2O_3-FeO. Als wichtigster Fixpunkt ist der Schmelzpunkt des reinen Magnetits von *R. Ruer* und *Minoru Nakamoto*[5]) zu 1550° bestimmt, doch war auch nach allen Vorsichtsmaßnahmen dennoch ein geringer FeO-Gehalt in der Schmelze nach-

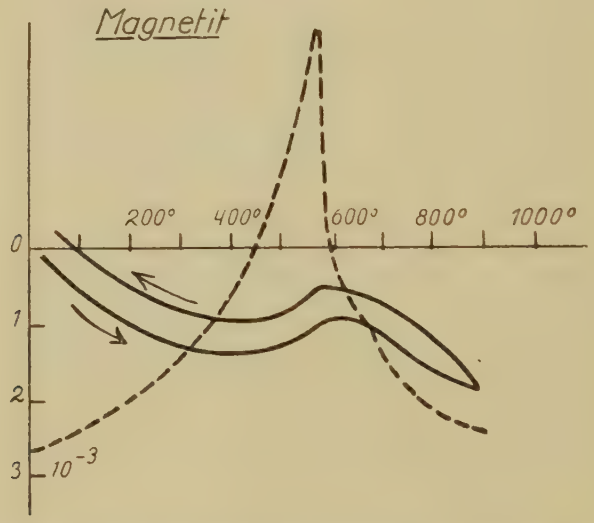


Fig. 17 Kurve der differentiellen Wärmeausdehnung des Magnetits; die abgeleitete Kurve ist gestrichelt (nach Chevenard).

zuweisen (ca. 4 Proz.). Die von *Wologdine* (1909) zu 825° bestimmte reversible magnetische Umwandlung des Magnetits wurde neuerdings von *P. Chevenard*[6]) durch Bestimmung der damit verbundenen Aenderung der

[1]) E. D. Campbell, Journ. of Ind. u. Engin. Chem. **9**, 943 (1917).
[2]) F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **22**, 900 (1914).
[3]) A. Simek, loc. cit. **23**, 131 (1914).
[4]) C. Matignon, Compt. rend. **177**, 1290—1293 (1923).
[5]) R. Ruer u. Minoru Nakamoto, Rec. d. Trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 675—682 (1923).
[6]) P. Chevenard, Compt. rend. **172**, 320—322 (1921).

thermischen Dilatation zu 570° befunden (siehe Fig. 17). Auch nimmt die elektrische Leitfähigkeit des Magnetits bei 575° (dem „*Curie*'schen Umwandlungspunkt") diskontinuierlich ab; die bei höherer Temperatur beständige Modifikation (α) leitet bei den höchsten Temperaturen sehr viel weniger als der β-Magnetit bei gewöhnlichen Wärmegraden[1]).

Am eingehendsten wurde das Dissoziationsgleichgewicht von Fe_3O_4 und Fe_2O_3 untersucht, zunächst durch *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter*[2]). Die gefundene Abhängigkeit des O_2-Drucks von Temperatur, der angewandten Substanzmenge und dem Gasvolumen führt die Genannten zu der Auffassung, daß die feste Phase als einheitliche feste Lösung der Oxyde Fe_2O_3 und FeO aufgefaßt werden müsse. — An der Fe_2O_3-Seite des Zustandsdiagramms verlaufen die p-x-Isothermen steil, fallen aber flach ein

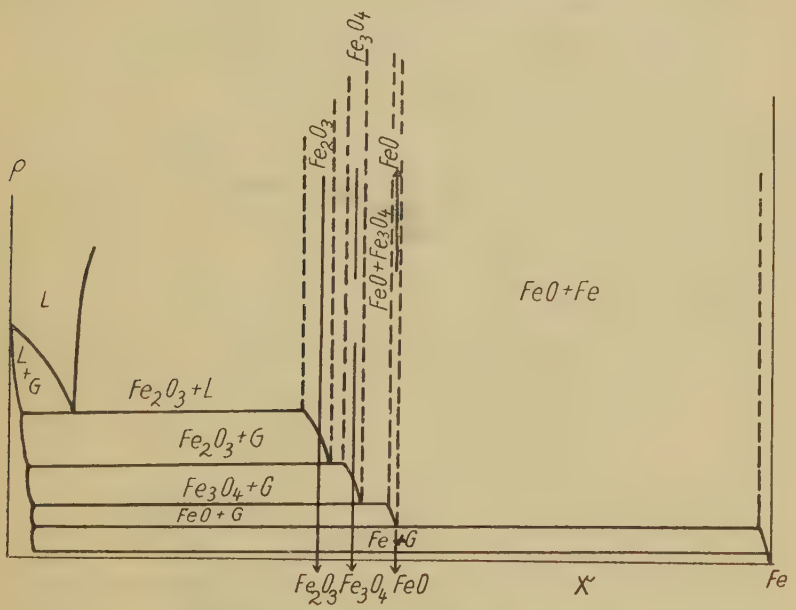


Fig. 18 p-x-Diagramm für die Gleichgewichte im System Fe_2O_3—Fe (nach Smits und Bijvoet).

mit zunehmendem FeO-Gehalt der (homogen gedachten) festen Phase. Die Mischkristallreihe wird bis 31,8 Proz. FeO kontinuierlich angenommen, und erst zwischen 31,8 Proz. und 33,3 Proz. (reiner Magnetit) könnte eine Entmischung angenommen werden. Die optische Homogenität der Präparate von 0—18 Proz. FeO-Gehalt wird erwiesen.

---

[1]) Mlle. S. Veil, Compt. rend. **172**, 1405—1407 (1921).

[2]) R. B. Sosman u. J. C. Hostetter, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 807, 1188 (1916); der dort benutzte Vakuum-Apparat beschrieben in Zeitschr. f. Elektrochem. **21**, 495 (1915); Journ. Wash. Acad. Sci. **5**, 277 (1915).

Diese Bestimmungen von *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter* haben eine mehrfache Kritik und Revision erfahren, so zunächst von *A. Smits* und *J. M. Byvoet* [1]); mit Benutzung der Daten von *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter* stellten sie ein ganz andersartiges p-x-Diagramm auf, in dem eine Unmischbarkeit der so verschieden symmetrischen Kristallarten Fe_2O_3 und Fe_3O_4 angenommen wird und die Erfahrungen des Hochofenprozesses

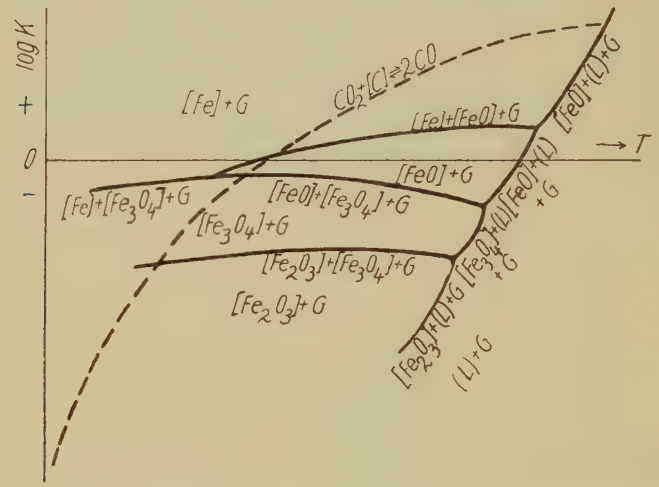


Fig. 18a Diagramm für die Reaktionen der Hochofenprozesse (nach Smits und Bijvoet).

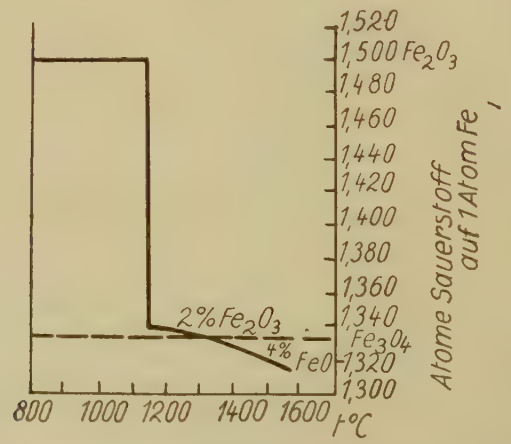


Fig. 19 Sauerstoffkonzentration im System Fe_2O_3—Fe_3O_4 (nach Ruer und Nakamoto).

[1]) A. Smits u. J. M. Byvoet, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. 27, I, 167—181 (1919); Ref. N. Jahrb. 1923, II, 17.

einbezogen sind[1]) (Fig. 18). Experimentell bewiesen sodann *R. Ruer* und *Minoru Nakamoto* (s. o.), daß die Mischbarkeit im System Fe_2O_3—Fe_3O_4 weit geringer sein müsse, als das *R. B. Sosman* und *J. C. Hostetter* angaben; der fast horizontale flache Verlauf der p-x-Isothermen bei diesen wird als Mischungslücke gedeutet, mit den Extremen 2 Proz. Fe_2O_3 in Fe_3O_4 ($t = 1150^0$) gelöst und 4 Proz. FeO in Fe_2O_3 gelöst ($t = 1550^0$) (Fig. 19). Der Sauerstoffdruck $^1/_5$ atm. wird über Fe_2O_3 bei $1385^0 \pm 15^0$ erreicht, womit die älteren Angaben von *P. Walden* (1908) berichtigt sind. Schon bei einem Verlust von 0,04 Proz. Sauerstoff konnte das Auftreten einer ferromagnetischen Phase nachgewiesen werden. — Die Dissoziation des Eisenoxydes oberhalb 1300^0 setzt auch in Gläsern deutlich ein, wie das *J. C. Hostetter* und *H. S. Roberts*[2]) gefunden haben. Ueber den Zerfall des Eisenoxyduls in Magnetit und Eisen bei 570° C siehe *G. Chaudron* und *H. Forestier*[3]).

Die Calciumferrite im System Fe_2O_3—CaO wurden durch die Untersuchung von *R. B. Sosman* und *H. E. Merwin*[4]) sichergestellt.

Die Eisentitanate im System FeO—TiO_2 gewinnen ein besonderes Interesse durch die mannigfachen Theorien, wie die natürlichen Ilmenite und Titanomagnetite zu verstehen sind. Durch zahlreiche Einzeluntersuchungen ist sichergestellt, daß die letzteren Gemenge sind von Magnetit und Ilmenit in einer besonders metallmikroskopisch sehr einfach festzustellenden Form, ähnlich den *Widmannstätten*'schen Figuren am Meteoreisen, also heterogener Art. Vgl. die Anschauungen von *W. T. Schaller*[5]); über die Mischkristalle Fe_2O_3—Ilmenit *P. Niggli*[6]); *J. T. Singewald*[7]); *St. Brunton*[8]); *C. H. Warren*[9]); *B. Granigg*[10]); *A. Lacroix*[11]).

Das System MgO—CaO haben *G. A. Rankin* und *H. E. Merwin* als einfach eutektisch festgestellt[12]).

Die Calciumphosphate im System CaO—P_2O_5 sind von *T. Dieckmann* und *E. Houdremont*[13]) nach ihren Schmelzpunkten bestimmt. Von

---

[1]) Vgl. auch W. Reinders, Chem. Weekbl. **15**, 180 (1918).
[2]) J. C. Hostetter u. H. S. Roberts, Journ. Amer. Ceram. Soc. **4**, 927—938 (1921); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 21.
[3]) G. Chaudron u. H. Forestier, Compt. rend. **178**, 2173—2176 (1924).
[4]) R. B. Sosman u. H. E. Merwin, Journ. Wash. Acad. Sci. **6**, 532—537 (1916).
[5]) W. T. Schaller, U. S. Geol. Surv. Bull. **509** (1912); Ref. Zeitschr. f. Krist. **55**, 402 (1916).
[6]) P. Niggli, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **67**, 389 (1915).
[7]) J. T. Singewald, Econ. Geol. **8**, 207—219 (1913).
[8]) St. Brunton, loc. cit. 670—680.
[9]) C. H. Warren, loc. cit. **13**, 419—441 (1918).
[10]) B. Granigg, Met. u. Erz **17**, 57—61 (1920).
[11]) A. Lacroix, Compt. rend. **171**, 481—485 (1920).
[12]) G. A. Rankin u. H. E. Merwin, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 570 (1916); Zeitschr. f. anorg. Chem. **96**, 291 (1916).
[13]) T. Dieckmann u. E. Houdremont, Zeitschr. f. anorg. Chem. **120**, 129—149 (1922).

erheblichem Interesse ist die Feststellung von *G. P. Merrill*[1]), daß in den Meteoriten im Gegensatz zu den primären Apatitmineralien ein Calciumphosphat (Francolit, Merrillit) sich findet, welches zuletzt in der Zwischenklemmasse der Steinmeteoriten auftritt.

Das Meteoreisen, System Fe—Ni. Ausführliche Diskussionen bei *G. Tammann*[2]). Sehr ausführliche Erörterungen über den Chemismus der Meteorite siehe bei *G. P. Merrill*[3]).

Nach Untersuchungen von *E. Pfann*[4]) ist der Plessitpunkt bei ca. 17—18 Proz. Ni anzusetzen, der Taenitpunkt im Zustandsdiagramm Fe—Ni bei 27 Proz. Ni (entgegen den früheren Annahmen von 25—40 Proz. Ni).

Auf Grund seiner Erfahrungen über die Resistenzgrenzen bestimmter chemischer Agentien auf Mischkristalle hat *G. Tammann*[5]) die Annahme ausgesprochen, daß der Taenit nicht eine besondere Phase im System Fe—Ni ist, und ebensowenig der Kamazit, sondern daß beide anomale Mischkristalle darstellen sollen. Speziell die Taenitblätter werden von *G. Tammann* als Nickel-reiche Schlieren gedeutet, geordnet nach den Ebenen des Oktaeders.

Eine Systematik der Meteoriten auf Grund des Zustandsdiagrammes Fe—Ni hat *F. Berwerth*[6]) entwickelt.

Der Umwandlungspunkt $A_2 = 768^0$ für den Uebergang des γ- in β-Fe ist von *K. Burgess* und *H. Scott*[7]), ferner von *R. Ruer* und *P. Goerens*[8]) nachgeprüft worden. Die magnetischen Untersuchungen von *Weiß* und *Forrer*[9]) haben neuerdings den *Curie*'schen Punkt bereits bei 357° ergeben. Ueber die Verschiedenheit des Gitters der verschiedenen Fe-Modifikationen siehe die röntgenographischen Studien von *A. Westgren*[10]).

Magnetkies im System Fe—S. Nachdem schon 1912 *E. T. Allen, J. L. Crenshaw* und *J. Johnston* den Schmelzpunkt des Magnetkieses zu 1170° festgestellt hatten, ist die Ermittlung eines Umwandlungspunktes bei 320° durch die unstetige Aenderung der thermischen Dilatation und des magnetischen Verhaltens durch *P. Chevenard*[11]) von erheblichem Interesse (Fig. 20). Vielleicht ist diese Umwandlung mit der von *R. Loebe* und *E. Becker* gefundenen bei 298° identisch[12]). Ueber den Nickelgehalt des Troilits, der

---

[1]) G. P. Merrill, Proc. Nat. Acad. Sci. **1**, 302 (1915); Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 322 (1917); **44**, 484 (1917); Amer. Min. **2**, 119 (1917).

[2]) G. Tammann, Lehrb. d. Metallogr. 1. Aufl. 1914, 268—274; 2. Aufl. 1921, 259—263.

[3]) G. P. Merrill, Proc. Nat. Acad. Sci. **1**, 429 (1915); Mem. Nat. Acad. Sci. **14**, I, 29 (1916); IV, 15 (1919).

[4]) E. Pfann, Zeitschr. f. Metallk. **9**, 65 (1917).

[5]) G. Tammann, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. 1918, 258.

[6]) F. Berwerth, SB. d. Wien. Akad. **123**, I, 1047 (1914).

[7]) K. Burgess u. H. Scott, Compt. rend. **163** (1916).

[8]) R. Ruer u. P. Goerens, Ferrum **13**, 130 (1915).

[9]) Weiß u. Forrer, Compt. rend. **178**, 1046—1049 (1924).

[10]) A. Westgren, Journ. Iron a. Steel Inst. **103**, 303—337 (1921); Jernkont. Ann. 1921, 401—430; 1923, 449—466; Naturw. **9**, 859 ff. (1921).

[11]) P. Chevenard, Compt. rend. **172**, 320—322 (1921).

[12]) Zeitschr. f. anorg. Chem. **77**, 301 (1912).

ziemlich unabhängig zu sein scheint von dem des Eisens in Meteoriten, siehe die Untersuchungen von *P. Tschirwinsky*[1]).

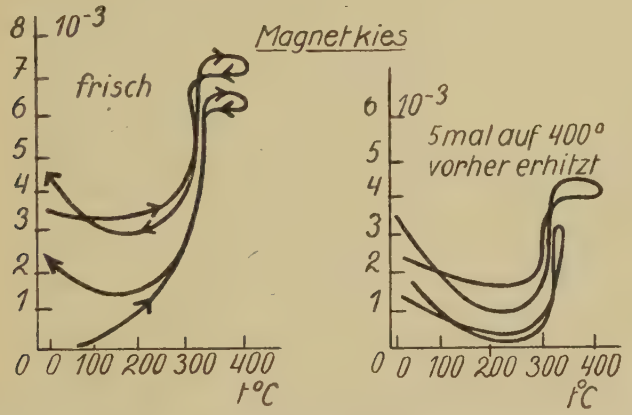


Fig. 20 Kurven der differentiellen Wärmeausdehnung des Magnetkieses, automatisch dilatometrisch aufgenommen (nach Chevenard).

Den Einfluß des Kohlenstoffgehalts auf die Umwandlung bei 138°[2]) hat *F. Rinne* neuerdings[3]) wiederum als einen katalytischen gekennzeichnet.

Rhabdit, Schreibersit im System Fe—P. Neue Beobachtungen des Rhabdits aus Eisenhochofensäuen siehe bei *L. J. Spencer*[4]).

Dreistoffsysteme.

Das vollständige System SiO_2—Al_2O_3—MgO haben *G. A. Rankin* und *H. E. Merwin*[5]) erforscht und die Schmelzgleichgewichte der in ihm vorkommenden, dem Cordierit nahestehenden Kristallarten ausführlich diskutiert. Die ternäre Verbindung $2\,MgO \cdot 2\,Al_2O_3 \cdot 5\,SiO_2$ darf als die Grundsubstanz des Cordierits betrachtet werden; sie ist ähnlich einem schon von *J. Morozewicz* erhaltenen künstlichen cordieritartigen Körper. Charakteristisch ist die Mischbarkeit des Cordierits mit SiO_2 bis zum Verhältnis $MgO : Al_2O_3 : SiO_2 = 1 : 1 : 3$, so daß die Kristallisationsbahnen in dem (inkongruenten) Felde für diese Mischkristalle nicht gerade Linien darstellen, die von einem stöchiometrisch bestimmten Punkte im

[1]) P. Tschirwinsky, Bull. Inst. Sci. St. Petersb. **5**, 111—115 (1922); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1923, II, 337.
[2]) cf. H. E. Boeke u. F. Rinne, Zeitschr. f. anorg. Chem. **53**, 338 (1907).
[3]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 231 (1924).
[4]) L. J. Spencer, Engin. **105**, 735 ff. (1919); Min. Mag. **17**, 340 ff. (1916).
[5]) G. A. Rankin u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **45**, 301—325 (1918).

Zustandsdiagramm ausstrahlen, sondern Kurven, die sich von einer Reihe von darstellenden Punkten der Mischkristalle aus mit fallender Temperatur bewegen. Merkwürdig ist auch die Bildung einer instabilen (μ-) Modifikation des Cordieritmoleküls bei 900° und weniger aus dem Glase, welche bei höherer Temperatur in die normale (α-) Form übergeht. Die Temperatur, bei der die Umwandlung $\mu \rightarrow \alpha$ merkbare Geschwindigkeit erreicht, steigt bei einer Zunahme des SiO_2-Gehalts von 30 Proz. um ca. 100° an.

Bemerkenswert ist auch, daß der im System SiO_2—Al_2O_3—MgO kristallisierende Spineli etwas Al_2O_3 und SiO_2 in fester Lösung aufzunehmen vermag.

Die inkongruente Schmelzung des Cordierits führt zur Ausscheidung oberhalb von 1440° von Sillimanit neben Glas. Es entspricht das in einem gewissen Grade den Ungleichgewichten, welche in den glasreichen Orthophyren („Atatschiten" nach *J. Morozewicz*, 1901) gelegentlich sich im Zusammenvorkommen von Sillimanit neben Cordierit verraten [1]).

Das vollständige System SiO_2—Al_2O_3—CaO wurde 1915 von *G. A. Rankin* nach der statischen Methode durchforscht [2]). Wichtig ist das Auftreten zweier wohldefinierter ternärer Kristallarten: des Anorthits, $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$, und des Gehlenits, $2\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$. Die letztere, der Melilithgruppe angehörige Kristallart wurde auch im Naturvorkommen gefunden und als Velardeñit bezeichnet [3]). Eine dritte, schlecht definierte Verbindung $3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ zerfällt vor dem Schmelzen und tritt im ternären System auch nirgends als primäre Phase in die Erscheinung. Mineralogisch ist es von großer Bedeutung, daß in dem ternären Zustandsdiagramm nach *G. A. Rankin* die Kristallart $3\,CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3\,SiO_2$ fehlt, welche uns in der Natur als der Kalktonerdegranat (Grossular) begegnet; dieser ist ein typisches Beispiel für eine inkongruente Schmelzung; seine Entstehung ist aus dem ternären Schmelzdiagramm für 1 atm. Druck noch nicht zu verstehen. Der darstellende Punkt des Grossulars läge zwischen demjenigen des Anorthits und des „Kalkolivins" $2\,CaO \cdot SiO_2$. Die theoretische Frage, wie die p-t-Kurven für die Koexistenz der Phasen Grossular, $CaO \cdot SiO_2$, Gehlenit und SiO_2 im Sinne der umgekehrten Bildung des ersteren aus den drei letztgenannten Körpern verlaufen müßten, behandelte *P. Niggli* ausführlicher [4]).

Endlich ist zu erwähnen, daß *E. Jänecke* eine ternäre Verbindung $8\,CaO \cdot 2\,Al_2O_3 \cdot SiO_2$ angegeben hat [5]), die als „Alit" in den Portlandzementklinkern sich wiederfindet; nach dem Ergebnis der sorgfältigen

---

[1]) Vgl. P. Niggli, Gesteins- u. Mineralprovinzen 1923, I, 184.

[2]) G. A. Rankin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 213—296 (1915); Berichtigungen loc. cit. **93**, 327 ff. (1915).

[3]) W. T. Schaller, U. S. Geol. Survey. Bull. **610**, 106—128 (1916); siehe auch F. W. Clarke, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 76 (1917).

[4]) In der 3. Aufl. von Grubenmann, Gesteinsmetamorphose (Berlin 1924), I, 129 ff.

[5]) E. Jänecke, Zeitschr. f. anorg. Chem. **93**, 271 (1915); dort auch weitere Literatur.

Rankin'schen Arbeit ist es wahrscheinlicher, daß der Alit das Silikat $3\,CaO\,.\,SiO_2$ mit etwas Tonerdegehalt ist.

Mischkristalle treten im ternären System nicht in größerem Maße auf; allein nimmt $CaO\,.\,SiO_2$ etwas CaO und SiO_2 in fester Lösung auf, vielleicht auch $3\,CaO\,.\,SiO_2$ etwas Al_2O_3 (s. o.).

Die Kalialumosilikate im System SiO_2—Al_2O_3—K_2O.

1. Orthoklas, Sanidin, Mikroklin. Die Berechnung des Schmelzpunktes von Orthoklas aus den Messungen von *W. P. White* (1909) über die spezifische Wärme dieser Kristallart und ihres Glases im Verein mit den Messungen von *O. Mulert* (1912) der Kristallisationswärme unter Zugrundelegung des *Nernst*'schen Wärmetheorems ergab nach *R. Wietzel*[1]) große Unzuträglichkeiten; es wurden ca. 4000° berechnet, während ca. 1200° experimentell bestimmt wurden[2]). Die neuen Untersuchungen von *N. L. Bowen* und *G. W. Morey*[3]) haben im Gegensatz zu den früheren Annahmen klargestellt, daß der Orthoklas keinen kongruenten Schmelzpunkt besitzt, sondern bei 1200° etwa in kristallisierten Leucit und eine SiO_2-reichere Schmelze zerfällt. Das Schmelzintervall bis zur Verflüssigung des letzten Restes der Kristallart Leucit ist erheblich (ca. 360°). Die Bedeutung dieses inkongruenten Schmelz- und Verfestigungs-Phänomens für die physikalisch-chemische Petrologie ist eine sehr große; *N. L. Bowen* und *G. W. Morey* haben auf das Pseudoleucitproblem in den Borolanitgesteinen insbesondere ausführlich hingewiesen.

Von Umwandlungserscheinungen der Kalifeldspate ist bis jetzt nichts Sicheres bekannt geworden; nur *E. Mäkinen*[4]) nimmt an, daß der Adular eine metastabile Modifikation sein könne. Dagegen ist der Zusammenhang der optischen Eigenschaften des Sanidins, welcher allerdings fast stets als ein Mischkristall mit Albit aufzufassen ist, mit der Temperatur sehr genau und wiederholt nachgeprüft worden, so zuletzt von *Sh. Kozu* und *K. Seto*[5]) (s. Fig. 21 u. 22). Z. T. sind diese Studien auch röntgenographisch kontrolliert.

Sehr wichtig sind die Beziehungen des Orthoklas zum Mikroklin, welche als ein Fall der Polysymmetrie oft aufgefaßt werden. Jedenfalls hat *A. Hadding*[6]) die Identität der röntgenographischen Bilder beider Kristallarten nachgewiesen. Auch *A. L. van der Veen*[7]) hat dieses Problem allgemeiner behandelt, besonders vom Standpunkt energetischer Betrachtungen aus. Nach den eingehenden Studien von *E. Mäkinen* (s. o.) scheint festzustehen, daß der Mikroklin eine Bildung hoher Drucke sei; jedenfalls

---

[1]) R. Wietzel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **116**, 71—98 (1921).
[2]) Zuletzt von R. Nacken (1913).
[3]) N. L. Bowen u. G. W. Morey, Amer. Journ. of Sci. [5] 4, 1—21 (1922).
[4]) E. Mäkinen, Geol. Foren. Förhdl. **39**, 121 (1917).
[5]) Sh. Kozu u. K. Seto, Min. Mag. **17**, 237—252 (1916); The Sci. Rep. Tohoku Imper. Univ. Sendai [3] **1**, 1, 25—32 (1921).
[6]) A. Hadding, Lunds Univ. Årskr. N. F. Avd. II, **14**, Nr. 23 (1918).
[7]) A. L. van der Veen, Chem. Weekbl. **14**, 508 (1917); Ref. N. Jahrb. 1921, I, 253ff.

ist er häufiger in den Tiefengesteinen, fehlt aber völlig den Oberflächengesteinen.

Von erheblichem Interesse sind die Versuche von *G. Kalb*[1]), die Trachtverschiedenheiten der natürlichen Orthoklaskristalle auf Unterschiede der Temperaturbedingungen der Systeme zurückzuführen, aus welchen sie gebildet worden sind.

Ueber das Phänomen des Farben-Irisierens bei vielen Feldspaten siehe die Spezialuntersuchung von *O. B. Böggild*[2]).

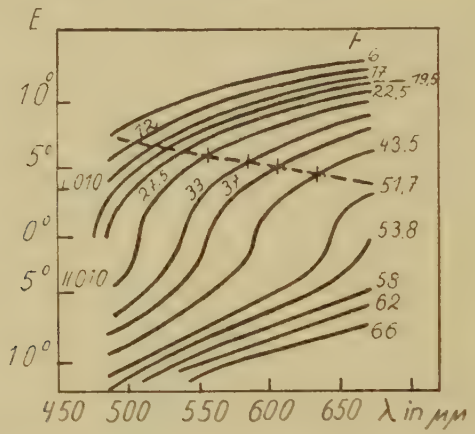


Fig. 21 Abhängigkeit des halben Achsenwinkels E von der Wellenlänge bei gegebener Temperatur (nach Kozu und Seto); Sanidin von der Eifel.

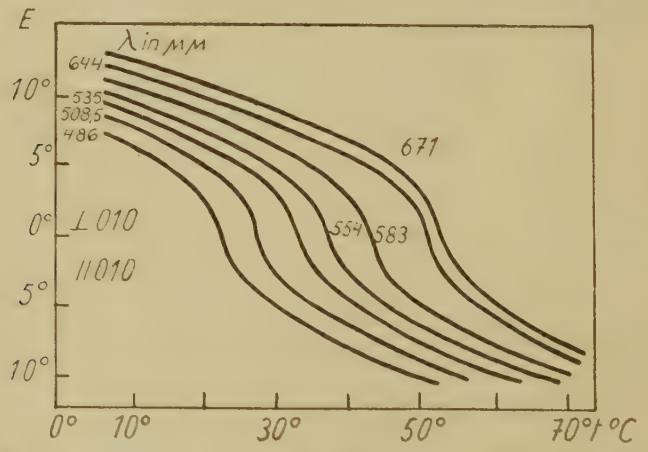


Fig. 22 Abhängigkeit des halben Achsenwinkels E von der Temperatur bei gegebener Wellenlänge (nach Kozu und Seto); Sanidin von der Eifel.

[1]) G. Kalb, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 456.

[2]) O. B. Böggild, Kgl. Danske Vidensk. Selsk. math.-fysiske Medd. **6**, 3, 79 S. (1924).

2. Leucit. Die eingehende thermogoniometrische Untersuchung von *R. Großmann*[1]) hat ergeben, daß die früher (nach *C. Klein*, 1897) zu 560° angenommene Umwandlungstemperatur $\alpha \rightleftarrows \beta$ Leucit zu 620° festzusetzen ist. Dabei ist zu beachten, daß freilich die natürlichen Leucitkristalle Mischkristalle mit einem Natronleucit darstellen, infolgedessen das thermische Verhalten je nach Zusammensetzung etwas verschieden sein kann. Die Brechungsindices des Leucits zeigen (ähnlich wie beim Quarz, s. o.), bereits ca. 150° unterhalb des Umwandlungspunktes ein deutliches Umbiegen (nach *F. Rinne* und *R. Kolb*, 1910), während bei diesem selbst keinerlei Andeutung einer Unstetigkeit in der Kurve erkennbar ist. Die Winkeländerungen bestimmter Kristallflächen aber setzen bei der Umwandlung sehr scharf diskontinuierlich ein.

Nach *N. L. Bowen* und *G. W. Morey* (s. o.) liegt der Schmelzpunkt des Leucits jedenfalls höher als derjenige des Platins (bei ca. 1860°).

3. Kaliophilit, Phacellit, Kalinephelin. Die Zustandsbedingungen dieses Minerals wurden von *N. L. Bowen*[2]) genauer untersucht; die dem Nephelin entsprechend kristallisierte gewöhnliche β-Modifikation ist durch Entglasung aus dem Glase (bei höchster Temperatur im Iridiumofen erschmolzen) zu erhalten. Auch ist *G. W. Morey*[3]) die hydrothermale Darstellung bei niedrigeren Temperaturen gelungen. Eine rhombische α-Modifikation beobachtet man in den im Iridiumofen erhitzten Proben; sie hat pseudohexagonalen Typus. Besonders auch nach einer älteren von *Duboin* (1899) angegebenen Methode ist diese Modifikation gut erhältlich; auch hat wohl schon *J. Lemberg* (1885) dieselbe gelegentlich beobachtet. Der Umwandlungspunkt $\beta \rightleftarrows \alpha$ liegt bei 1540° C, doch ist im Sinne der *Ostwald*'schen Stufenregel die α-Form auch bei weit tieferen Temperaturen, also zweifellos instabil zu gewinnen.

4. Die Verbindung $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot SiO_2$ wurde von *N. L. Bowen* (loc. cit.) bei Bildung von Kaliophilit nach der *Duboin*'schen Methode als Nebenprodukt beobachtet; isotrope Oktaeder.

5. Die Mikropegmatite im System SiO_2-Orthoklas. Betrachtungen über die eutektische Natur des Mikropegmatits und die Art seiner Verwachsungen von Orthoklas mit Quarz vor allem neuerdings bei *A. L. van der Veen*[4]) und *J. de Lapparent*[5]).

Sehr wichtig ist eine Feststellung von *P. J. Holmqvist*[6]), daß vielfach schlauch- oder auch keulenförmige Einwachsungen von Feldspat in Quarz auftreten, die im Querschnitt wie Einschlüsse aussehen. Solche Gebilde

---

[1]) R. Großmann, Diss. (Leipzig 1917), 54.

[2]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 115—132 (1917).

[3]) G. W. Morey, Journ. of the Amer. Chem. Soc. **36**, 217 (1914).

[4]) A. L. van der Veen, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **24**, II, 1856 (1916).

[5]) J. de Lapparent, Bull. soc. franç. de min. **40**, 111 (1917).

[6]) P. J. Holmqvist, Geol. Fören. Förhdl. **37**, 681 (1915).

werden oft als Resorptionserscheinungen des Quarzes beschrieben, während sie nach *P. J. Holmqvist* eher als mikropoikilitische Bildungen anzusehen sind.

Die Natronalumosilikate im System $Na_2O—Al_2O_3—SiO_2$.

1. Albit. Der von *Barbier* und *Prost* (1908) als monokline Spielart des Albits beschriebene Barbierit wird von *E. Mäkinen*[1]) als sehr unwahrscheinlich bezeichnet, die Analyse desselben als ungenügend betrachtet. Eine genauere Untersuchung des Verhältnisses zum Albit, besonders experimentelle Untersuchungen über etwaige Umwandlung u. dgl. steht aus. Das Vorkommen von oft erheblichen Beimengungen des Albitmoleküls zum Orthoklas sollte die Existenz eines monoklinen Natronfeldspats nicht unwahrscheinlich machen.

2. Nephelin, Carnegieit. Nachdem schon 1911 und 1912 *W. M. Bradley* und *H. W. Foote* die komplexe Mischbarkeit des Nephelinmoleküls $NaAlSiO_4$ mit SiO_2 untersucht hatten, ergab eine neuere Untersuchung von *N. L. Bowen*[2]), daß nicht SiO_2 sondern das Albitmolekül in den Nephelin in „fester Lösung" eingehe; das Verhältnis $Na_2O : Al_2O_3$ bleibt stets 1 : 1. Die älteren komplizierten Formeln für den Nephelin (z. B. von *St. Thugutt*) lehnt auch *F. Zambonini*[3]) ab; gleichzeitig wird eine statistische Betrachtung über die vorhandenen Nephelin-Analysen gegeben.

Die Annahme, daß der von *E. Esch* (1901) aus dem Nephelinit vom Etinde-Vulkan in Kamerun beschriebene „polysynthetisch verzwillingte" Nephelin dem Carnegieit entspräche, ist von *N. L. Bowen*[4]) als unrichtig erkannt worden.

3. Jadeit; Natronleucit. Die leichte Schmelzbarkeit[5]) ist allein bekannt; über die polymorphen Beziehungen zum Leucit liegt kein neues Material vor.

Lithiumalumosilikate des Systems $SiO_2—Al_2O_3—Li_2O$. *F. M. Jaeger* hat im Verein mit *H. S. van Klooster* und *A. Simek*[6]) die Bearbeitung dieses Systems in Angriff genommen. Wichtig ist vor allen Dingen eine Feststellung von *F. Meißner*[7]), daß die Reaktion β-Spodumen $\rightarrow$ α-Spodumen irreversibel verläuft, ersterer also monotrop und instabil in bezug auf die letztere Modifikation ist. Der auffallende Umstand, daß β-Spodumen bei höheren Temperaturen schmelzen soll (nach *Ballo-Dittler* [1912]) als die α-Form, wird von *F. Meißner* als eine Folge geringer Schmelzgeschwindigkeit betrachtet.

---

[1]) E. Mäkinen, Geol. Fören. Förhdl. **39**, 421 (1917).
[2]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4], **43**, 128 (1917).
[3]) F. Zambonini, Zeitschr. f. Krist. **55**, 132 (1915).
[4]) N. L. Bowen, loc. cit. 130.
[5]) cf. C. Doelter, Handb. d. Min.-Chem. II, **1**, 600 (1914).
[6]) F. M. Jaeger, H. S. van Klooster u. A. Simek, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **22**, 900 (1914); **23**, 131 (1914).
[7]) F. Meißner, Zeitschr. f. anorg. Chem. **110**, 187—195 (1920).

Im System SiO_2—Fe_2O_3—K_2O ist die von *P. Niggli* [1]) durchgeführte Synthese eines Kaliaegirins bemerkenswert, dessen Molekül in natürlichen Alkalipyroxenen vorkommt.

Das ternäre System SiO_2—FeO—MgO.

1. Bronzitreihe. Frl. *A. Weich* [2]) machte den interessanten Versuch, auf statistischem Wege in den rhombischen Pyroxenen der Eruptivgesteine das Verhältnis $FeO . SiO_2 : MgO . SiO_2$ festzustellen; äquivalente Tiefen- und Ergußgesteine zeigen auch hinsichtlich des Eisengehalts ihrer rhombischen Pyroxene das gleiche Verhalten. Mit zunehmender Basizität wird der $FeO . SiO_2$-Gehalt relativ geringer. Eine statistische Betrachtung über die Mischkristalle in der Reihe Enstatit-Hypersthen gab auch *F. Zambonini* [3]).

2. Olivinreihe. Ueber die Raumgitter-Isomorphie von Forsterit und Fayalit hat *F. Rinne* [4]) Anschauungen entwickelt, welche die Veränderungen der Gitterdimensionen mit Eintritt des Mg an Stelle von Fe betreffen. Die Zusammenhänge der Vorkommnisse der Olivine in Gesteinen mit ihrer chemischen Zusammensetzung hat *M. Stark* [5]) des näheren entwickelt und gefunden, daß die Fe-reicheren Glieder in Gesteinen mit mittlerem oder beträchtlichem Gehalt an SiO_2 kristallisieren, und zwar in allen petrographischen Provinzen.

Mit der Erfahrung, daß ein FeO-Gehalt der Olivine den Schmelzpunkt herabsetzt, stimmt die mikroskopische Zonarstruktur überein, in der man nach *F. Becke* [6]) einen $2\,MgO . SiO_2$-reichen Kern von $2\,FeO . SiO_2$-reicheren Hüllen umgeben sieht.

Die Aenderung der optischen Eigenschaften der Olivine mit der Zusammensetzung hat *H. Magnussohn* [7]) ausführlich diskutiert, und damit ältere Zusammenstellungen von *F. Becke* [8]) fortgesetzt.

Im System SiO_2—FeO—MnO hat *St. Kallenberg* [9]) homogene Mischkristalle $FeO . SiO_2$—$MnO . SiO_2$ vom Typus des Rhodonits synthetisch erhalten, welche mit steigendem Fe-Gehalt vom optisch positiven zum negativen Charakter übergingen.

Das vollständige System SiO_2—MgO—CaO

wurde von *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin* [10]) sehr ausführlich untersucht. Das Teilsystem $CaO . SiO_2$-Diopsid war zuvor schon von *E. T. Allen*, *F. E.*

---

[1]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **84**, 31—55 (1914).
[2]) Frl. A. Weich, Tscherm. Min. Mitt. **32**, 423 (1914).
[3]) F. Zambonini, Zeitschr. f. Krist. **55**, 132 (1915).
[4]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 236 (1924).
[5]) M. Stark, Zentr.-Bl. f. Min. 1924, 32—44.
[6]) F. Becke (1898); Literatur bei H. Michel, Tscherm. Min. Mitt. **32**, Heft 6, (1914).
[7]) H. Magnussohn, Geol. Fören. Förhdl. **40**, 601 (1918).
[8]) F. Becke in C. Doelter's Handb. d. Min.-Chem. II, **1**, 16 (1912).
[9]) St. Kallenberg, Zeitschr. f. anorg. Chem. **88**, 355 (1914).
[10]) J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4], **48**, 81 bis 123 (1919).

Wright, W. P. White und *E. S. Larsen* (1909) untersucht worden, doch stellte sich das von ihnen konstruierte Zustandsdiagramm in wesentlichen Teilen als unrichtig heraus. Jedenfalls aber hat der Wollastonit eine etwas größere Mischbarkeit mit dem Diopsid als α-Ca O . Si O_2 [1]; für das natürliche Vorkommen ist die damit verknüpfte Erhöhung der Umwandlungstemperatur des Wollastonits insofern wichtig, als damit ihre Eignung als Fixpunkt des geologischen Thermometers erheblich eingeschränkt wird.

In dem Teilsystem Si O_2-Diopsid ist nach *N. L. Bowen* [2]) das Auftreten eines Ca-Mg-Amphibols merkwürdig, der dem Diopsid in der Zusammensetzung entspricht [3]). In seiner wichtigen Arbeit über die Mischkristallbildung der Amphibolreihe hat *A. N. Winchell* [4]) dieses Molekül Ca O . Mg O . 2 Si O_2 ebenfalls als einen der Hauptbestandteile der Amphibole erkannt (an Stelle des Moleküls Ca O . 3 Mg O . 4 Si O_2).

Das Teilsystem Diopsid-Forsterit ist nach *N. L. Bowen* [5]) einfach eutektisch; die Diopsidschmelze ist weitgehend dissoziiert. Hauptsächlich hat aber *N. L. Bowen* das ternäre Teilsystem Si O_2—Diopsid—Forsterit untersucht und gefunden, daß zwischen Klinoenstatit und Diopsid eine lückenlose Reihe von Mischkristallen existiert. Der wirklich binäre Teil des Schnitts Mg O . Si O_2-Diopsid aber beschränkt sich auf ein ganz kleines Stück in der Nähe des Diopsidpunktes, und wiederum läßt sich auf eine sehr erhebliche Dissoziation in der Schmelzlösung schließen. Bei fraktionierter Kristallisation der Mischkristalle muß der Kern derselben sich stets Mg-reicher ausbilden als deren Hülle, was mit dem Naturvorkommen solcher Pyroxene [6]) gut übereinstimmt. Die optische Charakteristik derartiger Mischkristalle hat *A. N. Winchell* [7]) sehr ausführlich gegeben. — Sehr bedeutsam sind die Erörterungen von *N. L. Bowen* [8]) über den Verlauf einer gravitativen Kristallisationsdifferentiation in diesen Systemen, ergab sich doch bei seinen Versuchen das Absinken der Pyroxenkristalle bei ihrer Bildung aus der Schmelze, während das leichte Si O_2 (Tridymit) in ihr aufsteigt. Vgl. auch *N. L. Bowen's* Ausführungen über dieses System im Zusammenhang mit dem Reaktionsprinzip [9]).

Sehr bemerkenswert ist die Erfahrung, daß entgegen der von *N. L. Bowen* gefundenen ununterbrochenen Mischkristallreihe Diopsid-Klinoenstatit die Naturvorkommnisse eine erhebliche Mischungslücke zwischen Diopsid und Enstatit aufweisen [10]). Ein Tremolitmolekül Ca O . 3 Mg O

---

[1]) J. B. Ferguson u. H. E. Merwin in einer weiteren speziellen Mitteilung, loc. cit. 165—189.

[2]) N. L. Bowen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **90**, 1 (1914).

[3]) Siehe auch Amer. Journ. of Sci. [4] **38**, 207 (1914).

[4]) A. N. Winchell, loc. cit. [5] **7**, 287—310 (1924).

[5]) N. L. Bowen, loc. cit. 5 ff.

[6]) Enstatitaugite nach W. Wahl, Pigeonite nach A. N. Winchell, Amer. Journ. of Sci. [5] **6**, 504—520 (1923).

[7]) A. N. Winchell, loc. cit.

[8]) N. L. Bowen, loc. cit. [4] **39**, 175 (1915).

[9]) N. L. Bowen, Journ. of Geol. **30**, 177—198 (1922).

[10]) Vgl. P. Niggli-Grubenmann, Gesteinsmetamorphose I (Berlin 1924), 110.

. 4 SiO_2 wurde ebenfalls nicht beobachtet; offenbar sind die z. T. wasserhaltigen Amphibolsilikate Bildungen geringerer Temperaturen als die bei höheren Temperaturen, besonders aus Schmelzen stabil kristallisierenden der Reihe der Pyroxene.

Die vollständige Untersuchung des Systems CaO—MgO—SiO_2 durch *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin* [1]) ergab des weiteren neben Diopsid noch eine der Melilithgruppe zugehörige Kristallart 2 CaO . MgO . 2 SiO_2, welche als Åkermanit gekennzeichnet wird, den Monticellit und eine noch unbekannte 5 CaO . 2 MgO . 6 SiO_2, welche inkongruent schmilzt. Sehr wichtig sind die von *J. B. Ferguson* und *H. E. Merwin* sehr eingehend behandelten komplizierten Mischkristallbildungen im System SiO_2—MgO—CaO, besonders auch deren Umwandlungserscheinungen. Das aufgestellte Zustandsdiagramm hat sich bei der Untersuchung der genetischen Verhältnisse in den Alnöiten der Monteregian Hills bewährt, in denen Monticellit mit Chrysolith und Melilith auftritt. Die primär magmatische Natur des vordem nur als Kontaktmineral bekannten Monticellits wurde dadurch erwiesen [2]). Als künstliche Bildung ist der Monticellit auch in Schlacken beobachtet worden [3]).

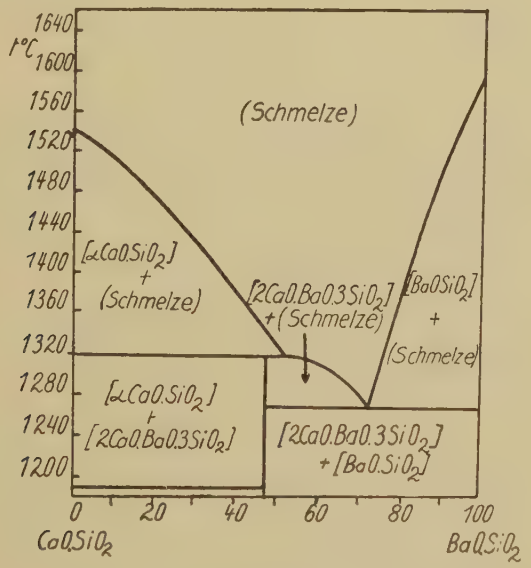


Fig. 23 System CaO . SiO_2—BaO . SiO_2 (nach Eskola).

---

[1]) J. B. Ferguson u. H. E. Merwin, loc. cit.

[2]) Vgl. N. L. Bowen, Journ. Wash. Acad. Sci. **11**, 278—281 (1921); **13**, 1—4 (1923); Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 1—34 (1922).

[3]) F. A. Hallimond, Min. Mag. **19**, 193—195 (1921).

Im System SiO_2—MgO—MnO bemühte sich *St. Kallenberg*[1]) ziemlich wenig erfolgreich, die Gleichgewichte des Teil-Systems $2\,MgO\,.\,SiO_2$ — $2\,MnO\,.\,SiO_2$ festzustellen; angeblich bilden sich lückenlose Mischkristalle (Typus I nach *Bakhuis-Roozeboom*), womit übereinstimmt, daß der natürliche Tephroit auch oft Forsteritmolekül beigemengt enthält.

Im System SiO_2—CaO—MnO hat gleicherweise *St. Kallenberg* eine lückenlose Mischkristallreihe mit Minimum zwischen Tephroit und α-$2\,CaO\,.\,SiO_2$ festzustellen geglaubt; doch sind diese Ergebnisse sehr einer Nachprüfung bedürftig.

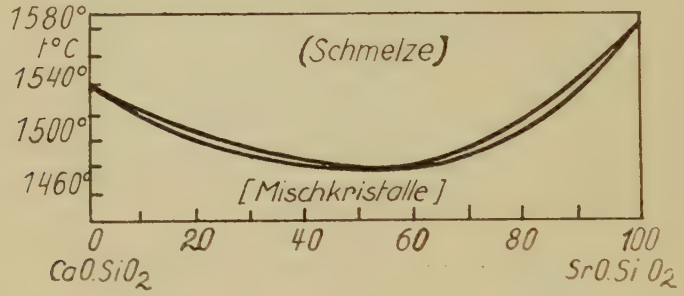


Fig. 24 System $CaO\,.\,SiO_2$—$SrO\,.\,SiO_2$ (nach Eskola).

Im System SiO_2—CaO—BaO und SiO_2—CaO—SrO hat *P. Eskola*[2]) die Schnitte der einfachen metasilikatischen Systeme $CaO\,.\,SiO_2$—$BaO\,.\,SiO_2$ und $CaO\,.\,SiO_2$—$SrO\,.\,SiO_2$ untersucht. In letzterem ist die Mischbarkeit eine lückenlose, im ersteren dagegen tritt eine inkongruent schmelzende Doppelverbindung $2\,CaO\,.\,BaO\,.\,3\,SiO_2$ auf (Fig. 23 u. 24).

Die Systeme SiO_2—CaO—Li_2O und SiO_2—ZrO_2—Li_2O sind nach den freilich unvollständigen Untersuchungen von *R. Schwarz*[3]) durch das Auftreten wohlcharakterisierter Verbindungen gekennzeichnet: $Ca_2SiO_4\,.\,Li_4SiO_4$ und $2\,Li_4SiO_4\,.\,3\,ZrSiO_4$.

Im System SiO_2—CaO—P_2O_5 hatte schon *O. Nielsen*[4]) Untersuchungen angestellt; neben der von *O. Nielsen* angegebenen Verbindung $3\,CaO\,.\,P_2O_5\,.\,3\,SiO_2$ hat *T. Dieckmann* und *E. Houdremont*[5]) auch die in Thomasschlacken wichtige Verbindung $3\,CaO\,.\,P_2O_5\,.\,2\,CaO\,.\,SiO_2$ aufgefunden.

---

[1]) St. Kallenberg, Zeitschr. f. anorg. Chem. **88**, 355 (1914).
[2]) P. Eskola, Amer. Journ. of Sci. [5] **4**, 353 ff. (1922).
[3]) R. Schwarz, Zeitschr. f. anorg. Chem. **115**, 87—99 (1921).
[4]) O. Nielsen, Ferrum **10**, 97 (1913).
[5]) T. Dieckmann und E. Houdremont, Zeitschr. f. anorg. Chem. **120**, 129—149 (1922).

Im System Al_2O_3—Fe_2O_3—CaO hat die orientierende Arbeit von *E. D. Campbell*[1]) die Bildung von Mischkristallen zwischen Calciumferrit und -aluminat ergeben.

Das ternäre System Al_2O_3—MgO—CaO. Nach den Untersuchungen von *G. A. Rankin* und *H. E. Merwin*[2]) treten neben Spinell und den Calciumaluminaten keine ternären Verbindungen auf.

Die Apatitgruppe in dem System CaO—P_2O_5—Ca (Cl, Fl)$_2$ usw. Nach den synthetischen Versuchen von *R. Nacken*[3]) hat insbesondere *F. Zambonini*[4]) interessante neue Synthesen von Apatit-Kristallarten durchgeführt. Sehr bemerkenswert ist vor allem, daß in vielen Naturvorkommnissen das Verhältnis von Phosphat zu Halogenid größer ist als 3:1, bisweilen auch ein Ueberschuß an CaO (Gehalt an Voelckerit) vorhanden sei.

Von ganz besonderem Interesse sind die Beobachtungen von *R. Brauns*[5]), auch über das Vorkommen von Karbonat- und Sulfatapatit, sowie die Ansichten von *A. F. Rogers* neben denen von *F. Zambonini* über Voelckerit usw.[6]). Das Problem des Massenisomorphismus ist wiederholt diskutiert worden[7]). Eine Studie über Hydroxyapatit und seine Bildung im System CaO—P_2O_5—H_2O siehe bei *R. Basselt*[8]).

Die den Apatitmineralien so nahestehende Gruppe des Pyromorphits-Mimetisits-Vanadinits hat *M. Amadori* synthetisch durchforscht[9]).

Vierstoffsysteme.

Das quaternäre System SiO_2—Al_2O_3—MgO—CaO. Allgemeines siehe bei *H. E. Boeke*[10]). Orientierende Vorversuche von *V. Schumoff-Deleano*[11]).

1. Das ternäre Teilsystem SiO_2—Forsterit—Anorthit. Untersuchungen von *O. Andersen*[12]) ergaben, daß in einem Teil dieses Systems Spinell auskristallisiert, welche Kristallart nur quaternären Gleich-

---

[1]) E. D. Campbell, Journ. Ind. a. Engin. Chem. **11**, 116 (1919).

[2]) G. A. Rankin und H. E. Merwin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **96**, 291 (1916).

[3]) R. Nacken, Centr.-Bl. f. Min. 1912, 545.

[4]) F. Zambonini, Compt. rend. **162**, 919 (1916); Rev. min. e crist. ital. **45**, **46**, 3—185 (1916).

[5]) R. Brauns, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **41**, 74 (1917). Vgl. synthetische Versuche von W. Eitel, Schrift. d. Königsb. Gelehrt. Ges. Naturw. Kl. **1**, Nr. 4 (1924).

[6]) Siehe Amer. Journ. of Sci. [4] **33** (1912); Min. Mag. **17**. 155—162 (1914).

[7]) So besonders bei O. Großpietsch, Zeitschr. f. Krist. **54**, 463 (1914).

[8]) R. Basselt, Journ. chem. soc. Lond. **111**, 620 (1917).

[9]) Atti d. R. accad. d. Linc. Rom **21**, II, 768 (1912); ausführliche Diskussion nebst neueren Ergebnissen siehe Gazz. chim. ital. **49**, I, 38—102 (1919); Ref. N. Jahrb. 1922, I, 166 ff.

[10]) H. E. Boeke, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 313.

[11]) V. Schumoff-Deleano, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 290—304.

[12]) O. Andersen, Amer. Journ. of Sci. [4] **39**, 407—454 (1916); N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **40**, 701 (1916).

gewichten entsprechen kann; im übrigen ist das Teilsystem ein ternärer spezieller Schnitt des darstellenden Tetraeders des Vierstoffsystems SiO_2—Al_2O_3—MgO—CaO. Charakteristisch ist ein inkongruenter Quintupelpunkt für die Reaktion

[Forsterit] + [Anorthit] + (Schmelze) $\rightleftharpoons$ [Klinoenstatit] + [Anorthit]

derzufolge erstausgeschiedener Olivin aus einem stark basischen Magma übergeht in Klinoenstatit, welcher im Endpunkte der Kristallisation mit Anorthit und Tridymit ein sehr viel stärker saures Endmagma repräsentiert. *O. Andersen* führt für diesen auf Gleichgewichtserscheinungen beruhenden Resorptionsvorgang die Bezeichnung als Reaktionsprinzip ein, und es hat sich dessen Anwendung auf die petrologischen Einzelvorkommnisse als ein sehr fruchtbares Leitprinzip in der Tat bewährt, besonders im Fall der Ueberkrustungs-Ungleichgewichte (der fraktionierten Kristallisation nach *N. L. Bowen*), wenn man es noch dazu kombiniert mit den wichtigen Ergebnissen der Untersuchung des Systems Diopsid—Forsterit—SiO_2 s. o. Schöne Anwendungsbeispiele geben u. a. *H. A. Brouwer*[1]) und *H. S. Washington*[2]) bei Quarz-führendem Diabas usw. Eine allgemeine ausführliche Darstellung des Reaktionsprinzips siehe bei *N. L. Bowen*[3]).

2. Das ternäre Teilsystem Gehlenit (Velardeñit)—Åkermanit. *A. F. Buddington* und *J. B. Ferguson*[4]) haben die einfache lückenlose Mischkristallreihe dieser Kristallarten (mit Temperaturminimum, Typus II nach *Bakhuis-Roozeboom)* erwiesen; das System ist grundlegend für eine Erkenntnis der in Schlacken und auch als vulkanische Bildungen so sehr häufigen Melilithmineralien. Eine Erklärung finden in dem Zustandsdiagramm auch die oft ausgezeichneten Zonarstrukturen besonders der Schlackenmelilithe, wie sie neuerdings eingehend von *K. Hofmann-Degen*[5]) beschrieben wurden. In dieser Arbeit werden die Silikate des Typus $3RO \cdot 2SiO_2$, zu denen auch der Åkermanit und der Hardystonit ($2CaO \cdot ZnO \cdot 2SiO_2$) gehören, als „Justite" zusammengefaßt.

3. Ueber die Zugehörigkeit der gewöhnlichen tonerdehaltigen Pyroxene und Amphibole zum Vierstoffsystem SiO_2—Al_2O_3—MgO—CaO siehe später.

Das quaternäre System SiO_2—Al_2O_3—CaO—Na_2O.

1. Das Teilsystem Anorthit—Albit. Nach der grundlegenden Untersuchung der Schmelzgleichgewichte durch *N. L. Bowen* (1913) ist vor allen Dingen die Ursache der Isomorphie von Kalk- und Natronfeldspat Gegenstand eingehender Betrachtungen gewesen; der auffallende Unterschied in der chemischen Bruttoformel der Endglieder der Plagioklasreihe hat wesentlich dazu beigetragen, unsere Ansichten über die Möglichkeit

[1]) H. A. Brouwer, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **28**, 656 bis 665 (1920).

[2]) H. S. Washington, Amer. Journ. of Sci. [5] **6**, 338—367 (1923).

[3]) N. L. Bowen, Journ. of Geol. **30**, 77—198 (1922).

[4]) A. F. Buddington und J. B. Ferguson, Amer. Journ. of Sci. [4] **50**, 131—140 (1920).

[5]) K. Hofmann-Degen, SB. d. Heidelb. Akad. d. Wiss.; math.-phys. Kl. 1919, Nr. 14.

der Mischkristallbildung zu erweitern. Im Verein mit den Ergebnissen raumgittertheoretischer Betrachtungen besteht auch keine Schwierigkeit, diesen hohen Grad der Isomorphie durch Atomaustausch verständlich zu machen. So hat vor allen Dingen *P. Niggli*[1]) die topischen Parameter der Plagioklase diskutiert. Hauptsächlich aber haben die Vorstellungen von *W. H. Bragg* über die Atomdurchmesser fördernd gewirkt, und *E. T. Wherry*[2]), sowie *F. Zambonini*[3]) haben gezeigt, daß die Gruppen CaAl und NaSi einander strukturell völlig gleichwertig sich verhalten. Freilich hat auch *R. W. G. Wyckoff*[4]) eine weitgehende prinzipielle Kritik an einer derartigen Betrachtungsweise geübt. Gerade bei Kristallen niederer Symmetriegrade läßt sich nach *R. W. G. Wyckoff* nichts Gewisses betreffs der Ursachen der Isomorphie aussagen, und der Ersatz von Elementgruppen ist in ihnen auch sicherlich komplizierter als der Austausch einfacher Atome in hochsymmetrischen Gittern wie KCl und KBr. Ueber die neuen optischen Grundlagen der Bestimmung der Plagioklase nach der Universalmethode von *E. S. Fedorow* siehe besonders die große Monographie von *L. Duparc* und *M. Reinhard*[5]).

2. Die Myrmekite im Teilsystem SiO_2—Plagioklas hat *J. J. Sederholm*[6]) als synantektische Bildungen bezeichnet (vom griech. συναντομαι = zusammentreffen), d. h. als eine besondere Form von Verwachsungserscheinungen zweier bestimmter Mineralarten. Besonders auch die genetischen Beziehungen hat *J. J. Sederholm* eingehend erörtert.

3. Das Teilsystem Nephelin(Carnegieit)—Anorthit wurde schon 1912 von *N. L. Bowen* erforscht. Es ergab sich neuerdings in Verfolg der eigentümlichen Analogie des Carnegieits mit dem Anorthit (als Natronanorthit), daß der Carnegieit-Molekül-Gehalt in basischen Plagioklasen, z. B. dem Anemousit[7]) in kleinen Mengen vorkommt, und neuerdings hat *L. Ahlers*[8]) diese Beimengung kleiner Gehalte von Carnegieit als eine ziemlich häufige Erscheinung zu kennzeichnen vermocht.

Das quaternäre System SiO_2—Al_2O_3—K_2O—Na_2O.

1. Die Kalinatronfeldspate, Anorthoklase, Perthite. Ueber die Entmischungserscheinungen der natronhaltigen Kalifeldspate (zu Mikroperthiten, Perthiten) aus homogenen Mischkristallen (Anorthoklasen) liegen neuerdings zahlreiche Einzelstudien vor. So hat vor allen Dingen *E. Mäkinen*[9]) ein umfangreiches Beobachtungsmaterial statistisch

---

[1]) P. Niggli, SB. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **67**, 387 (Leipzig 1915).
[2]) E. T. Wherry, Amer. Min. **7**, 113—121 (1922); **8**, 1—8 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 295.
[3]) F. Zambonini, loc. cit. **8**, 81—85 (1923); Ref. N. Jahrb. loc. cit. 296 ff.
[4]) R. W. G. Wyckoff, loc. cit. 85—92; Ref. N. Jahrb. loc. cit. 297.
[5]) L. Duparc u. M. Reinhard, Mem. soc. phys. d'hist. nat. **40**, 121 (Genf 1924).
[6]) J. J. Sederholm, Bull. Com. Géol. Finld. 1916, Nr. 48; Ref. N. Jahrb. 1922, I, 183 ff.
[7]) cf. O. Großpietsch, Tscherm. Min. Mitt. **33**, 27—47 (1915).
[8]) L. Ahlers, Zeitschr. f. Krist. **59**, 329 (1924).
[9]) E. Mäkinen, Geol. Fören. Förhdl. **39**, 121-184 (1917); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 339—343.

zu einem Zustandsdiagramm des Systems Or—Ab aufgearbeitet und gefunden, daß primär in der Tat die Mischkristallbildung eine lückenlose ist, daß aber bei sinkender Temperatur eine Mischungslücke auftritt, welche sich mit ihr immer mehr erweitert (Typus V nach *Bakhuis-Roozeboom*). Höchst beachtenswert sind vor allen Dingen auch die bei den Kristallisationen aus verschiedenen Systemen sich bildenden Kristallsymmetrien (jeweils monoklin oder triklin). Von besonderer Wichtigkeit ist der Hinweis *E. Mäkinen's* auf die Tatsache, daß Albit in Orthoklas zu diffundieren vermag; wirklich konnte *E. Dittler* und *A. Köhler*[1]) diese Diffusion bei höheren Temperaturen optisch nachweisen. Damit stimmt auch die Untersuchung von *A. Hadding*[2]) und die gleichzeitige von *Sh. Kozu* und *Y. Endo*[3]), welche durch Röntgenstrahlenanalyse von natürlichen teilweise entmischten Kalinatronfeldspaten deren Tendenz zur Homogenisierung bei höheren Temperaturen erkannten, während mit abnehmender Temperatur die vordem einheitlichen Photogramme sich wieder in getrennte Zonarbögen bzw. für Or- und Ab-Kristalle differenzieren.

E. Mäkinen (loc. cit.) unterscheidet bei den Perthiten zwei verschiedene Typen, einen primären, der direkt aus Anorthoklas hervorging, und einen sekundären, der in Graniten und Granitpegmatiten vorkommt und entweder Orthoklas oder Plagioklas enthält. Die Temperaturstufen der Perthit- oder Antiperthitparagenesen, welche er aus einem umfangreichen Beobachtungsmaterial ableitet, dürften als Unterlage für die synthetische Behandlung des Problems von Bedeutung werden.

Aehnliche Vorstellungen wie *E. Mäkinen* hat auch *P. Tschirwinsky*[4]) auf statistischem Wege entwickelt, besonders auch die quantitative Zusammensetzung der bei der Entmischung entstehenden Grenzmischkristalle festzustellen versucht.

Ein ganz besonders eigenartiges Problem ist von *N. Sundius* und *P. Quensel*[5]) in Angriff genommen worden: die Rhombenfeldspäte. Nach *P. Quensel* sollen ihre merkwürdigen Umgrenzungen nicht eine Folge von Kristallisationswachstum, sondern von Lösungserscheinungen sein, wofür ihr Habitus und die scharfen Gegensätze der Zusammensetzung — im Kern sehr Plagioklas-reicher Perthit, am Rande sehr kalireiche Hüllen — sprechen können, wie das *N. Sundius* bestätigte. Letzterer Autor wendet sich aber gegen die Anschauung *P. Quensel's* über die Lösungserscheinungen an den Rhombenfeldspäten und betont die wohlorientierte Verwachsung des Kalifeldspats mit dem natronreichen Kern.

2. Das System Nephelin (Carnegieit)—Kaliophilit (Phacellit). Vollständige Gleichgewichtsuntersuchung von *N. L. Bowen*[6]);

[1]) E. Dittler u. A. Köhler, Anz. d. Wien. Akad. d. Wiss. 1924, Nr. 13, 2.
[2]) A. Hadding, Lunds Univ. Årsskr. Avd. 2, **17** (1921).
[3]) Sh. Kozu u. Y. Endo, Sci. Rep. Tohoku Imp. Univ. Sendai [3] **1**, Nr. 1 (1921); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 3 ff.
[4]) P. Tschirwinsky, Zeitschr. f. Krist. **57**, 359—375 (1923); dazu Bemerkungen von P. Niggli, loc. cit. 376 ff.
[5]) N. Sundius u. P. Quensel, Bull. Geol. Inst. Upsala **16**, 14, 107—114 (1919); Geol. Fören. Förhdl. **41**, 607—613 (1919); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 343 ff.
[6]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 115—132 (1917).

es ergab sich eine völlige Mischbarkeit der β-(Nephelin-)Formen der Moleküle $KAlSiO_4$—$NaAlSiO_4$, aber eine beschränkte für die α-Formen (Carnegieit und pseudohexagonal-rhombischer Kaliophilit). Die Umwandlungstemperatur des Nephelins wird durch Beimischung des Kaliophilits stark erhöht, so daß selbst eine primäre Ausscheidung von Mischkristallen (Na-K-Nephelin, z. B. von Magnet Cove, Arkansas) bei gewissen Konzentrationen möglich wird[1]). Wahrscheinlich haben auch die sehr Kaliophilitreichen α-Mischkristalle eine Mischungslücke. Daß man bisher keinen natürlichen Nephelin mit mehr als 32 Proz. $KAlSiO_4$ gefunden hat, erklärt sich nach *N. L. Bowen* durch die Seltenheit entsprechender sehr kalireicher Schmelzlösungen.

In weiterem Umfange bespricht dann *N. L. Bowen* die komplexe Natur der natürlichen Nepheline, welche nicht nur Mischkristalle von $NaAlSiO_4$ mit $KAlSiO_4$ darstellen, sondern auch solche mit Albit- und Anorthitmolekül (s. o.).

Das quaternäre System SiO_2—Al_2O_3—K_2O—BaO mit der Reihe der Orthoklas-Celsianmischkristalle (Hyalophane) ist nach *G. Tschermak*[2]) allgemeiner wichtig, da die Orthoklaskristalle, besonders in den Alkaligesteinen, häufig etwas Bariumfeldspat enthalten, wie die analytischen Studien an Gesteinen verschiedenster Vorkommnisse bestätigen[3]).

Künstliche Bariumfeldspate des Celsiantypus hat *P. Eskola*[4]) dargestellt und beschrieben, desgleichen den entsprechenden Strontiumanorthit.

Die röntgenographische Untersuchung von Barytfeldspäten[5]) ergab die große strukturelle Aehnlichkeit von Orthoklas und Celsian. Damit stimmt die von *E. T. Wherry*[6]) gegebene Betrachtungsweise überein, nach der in den Hyalophan-Bariumorthoklasen die Atomvolumina von K + Si und Ba + Al völlig sich entsprechen.

Mineralische Fünfstoffsysteme.

Das System SiO_2—Al_2O_3—MgO—CaO—Na_2O ist in seinem Teilsystem Diopsid—Albit—Anorthit eingehend von *N. L. Bowen*[7]) untersucht; es ist deshalb besonders genetisch bedeutsam, weil es im basischen (Anorthit-)reichen Teile einem vereinfachten basaltisch-gabbroidalen („haplobasaltischen") Magma, im sauren (Albit-reichen) Teil einem vereinfachten („haplodioritischen") Augitdioritmagma entspricht und ein vorzügliches Beispiel für Kristallisationsdifferentiation darstellt. Es zeigt sich im

---

[1]) Vgl. N. L. Bowen, loc. cit. [4] **33**, 551 (1912).
[2]) G. Tschermak, Tscherm. Min. Mitt. **32**, 543 (1914).
[3]) H. S. Washington, Man. of the chem. anal. of rocks, 3. ed. (N. York 1919).
[4]) P. Eskola, Amer. Journ. of Sci. [5] **4**, 331—375 (1922).
[5]) Nach A. Hadding, Lunds Univ. Årsskr. N. f. Avd. 2, **17** (1921); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 327 ff.
[6]) E. T. Wherry, Amer. Min. **8**, 1—8 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 295.
[7]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4] **40**, 161—185 (1915); Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 23—50 (1915).

Laufe der Kristallisation allein nach den Regeln der Phasenlehre, daß ein kontinuierlicher Uebergang eines basischen Magmas in ein saures durch jene stattfinden muß, in Uebereinstimmung mit der petrologischen Erfahrung [1]).

Das *Bowen*'sche Zustandsdiagramm gibt freilich noch keine Anhaltspunkte für die von *H. S. Washington* [2]) gegebene Beobachtung, daß offenbar eine gewisse Mischkristallbildung zwischen Diopsid und Plagioklas bestehen muß, welche sich in manchen Jadeiten besonders Mittel-Amerikas unzweifelhaft ergibt.

Ein sehr kompliziertes Schmelzgewichtsbild gibt die von *N. L. Bowen* [3]) gegebene Erörterung eines „haplonephelinitischen" Systems Diopsid-Nephelin, aus dem sich die komplizierten Erscheinungen der Kristallisation in Monticellit-Alnöiten Kanadas ergeben (s. S. 61). Der Nephelin wirkt auf den Diopsid entkieselnd, und geht unter Ausscheidung von Olivin in das Natronleucit-Molekül über, welches später als Analcim in der Natur wirklich beobachtet wurde. In einer späteren Phase der Kristallisation wird der Olivin wieder aufgezehrt unter Ausscheidung von Monticellit, schließlich geht auch dieser in Melilith über. In einem Raumdiagramm des Systems SiO_2—MgO—CaO—Nephelin bringt *N. L. Bowen* zum Ausdruck, wie mit steigendem Nephelingehalt die Phasengleichgewichte und die Kristallausscheidungen sich verschieben. Eine bemerkenswerte Diskussion dieser Erscheinungen von Seiten *K. H. Scheumann's* [4]) führt zu dem Ergebnis, daß auch für die von ihm (1913) als Polzenite bezeichneten Gesteine ähnliche Beziehungen gelten [5]).

Im System SiO_2—Al_2O_3—Fe_2O_3—CaO—Na_2O kann man analog den Entmischungen der Anorthoklase zu Perthiten auch die Aventurinfeldspate als entmischte feste Lösungen von Feldspäten und Eisenoxyd auffassen [6]), was *O. Andersen* [7]) eingehend bestätigen konnte. Die Hämatitentmischung der Feldspäte beschäftigte auch *P. Niggli* [8]), der vermutet, daß bei einer Abkühlung Fe_2O_3-haltiger Mischkristalle der Feldspäte bereits bei 450° die eigentliche Entmischung stattfindet. Jedenfalls ist die sicher erwiesene Existenz eines Eisenfeldspats $K_2O \cdot Fe_2O_3 \cdot 6\,SiO_2$ in diesem Zusammenhang wesentlich.

Im System SiO_2—Al_2O_3—CaO—K_2O—Na_2O ist in Fortsetzung der älteren Studien von *J. H. L. Vogt* (1905, 1908) und *R. Herzenberg* (1911)

[1]) N. L. Bowen, Reaktionsprinzip, Journ. of Geol. **30**, 177—198 (1922).
[2]) H. S. Washington, Proc. Nat. Acad. Sci. **8**, 319—326 (1922).
[3]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 1—34 (1922).
[4]) K. H. Scheumann, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 495—546.
[5]) Siehe auch N. L. Bowen, Journ. Wash. Acad. Sci. **13**, 1—4 (1923); Ref. N. Jahrb. 1925, I, 58—64.
[6]) Nach A. Johnsen 1911.
[7]) O. Andersen, Amer. Journ. of Sci. [4] **40**, 351—398 (1915); Ref. N. Jahrb. 1917, 14 ff.
[8]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **84**, 50 (1914).

von *E. Mäkinen* [1]) eine ausführliche Darstellung über die Aenderung des Mischungsverhältnisses Or : Ab : An auf Grund zahlreicher Beobachtungen und Analysen gegeben worden, welche prinzipiell mit *R. Herzenberg's* Ergebnissen übereinstimmt.

Den Zusammenhang der Dichteeigenschaften der Plagioklas-Orthoklas-Mischkristalle mit ihrer Zusammensetzung behandelte *O. Großpietsch* [2]). Ueber den Einfluß der Orthoklas-Beimengung zu den Plagioklasen auf die optische Charakteristik der letzteren siehe *R. Sabot* [3]).

Polynäre Mineralien.

Die Auffassung vieler Mineraliengruppen als Vielstoffsysteme wird im nachfolgenden zugrunde gelegt.

1. Die Pyroxenmineralien.

Nachdem *R. B. Sosman* schon 1911 eine statistisch-analytische Betrachtung über die diopsidischen Pyroxene und die rhombischen Glieder

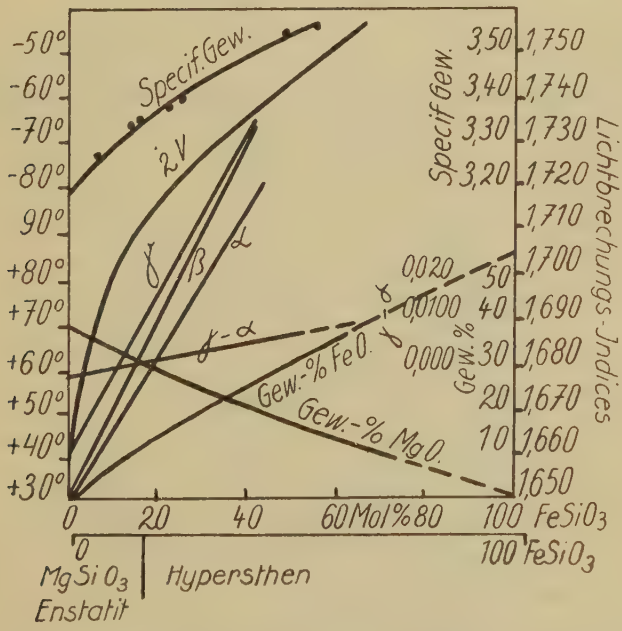


Fig. 25 Beziehung zwischen dem physikalischen Charakter und der Zusammensetzung in den rhombischen Pyroxenen (nach Winchell).

---

[1]) E. Mäkinen, Geol. Fören. Förhdl. **39**, 121 (1917); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 339—343.

[2]) O. Großpietsch, Tscherm. Min. Mitt. **33**, 27—47 (1915).

[3]) R. Sabot, Compt. rend. de la soc. phys. d'hist. nat. Genf **35**, 72 (1918); Ref. N. Jahrb. 1921, I, 22 ff.

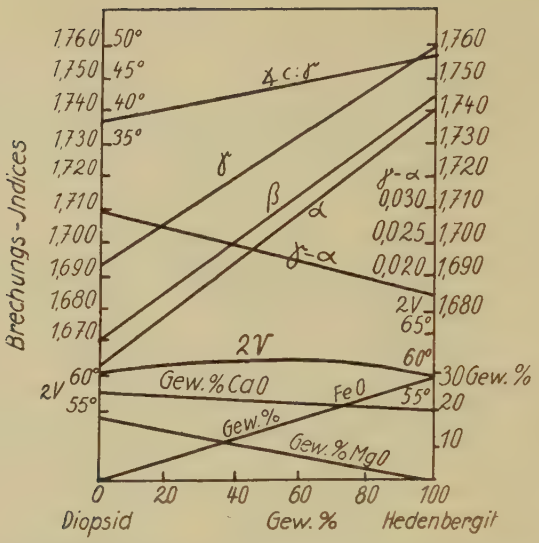


Fig. 26 Beziehung zwischen den physikalischen Eigenschaften und der Zusammensetzung in der Reihe der monoklinen Pyroxene der Reihe Diopsid-Hedenbergit (nach Winchell).

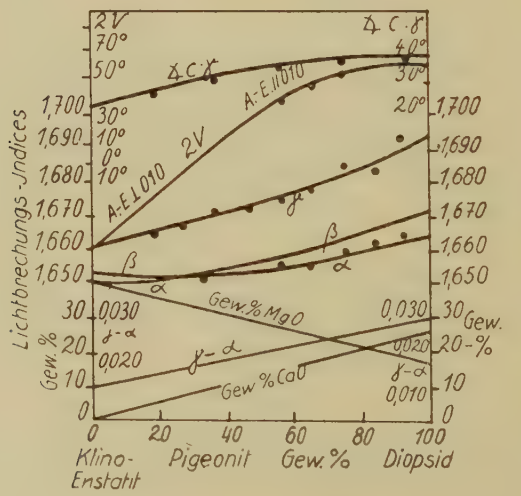


Fig. 27 Beziehung zwischen den optischen Eigenschaften und der Zusammensetzung in der Reihe der monoklinen Pyroxene Klinoenstatit-Diopsid (nach Winchell).

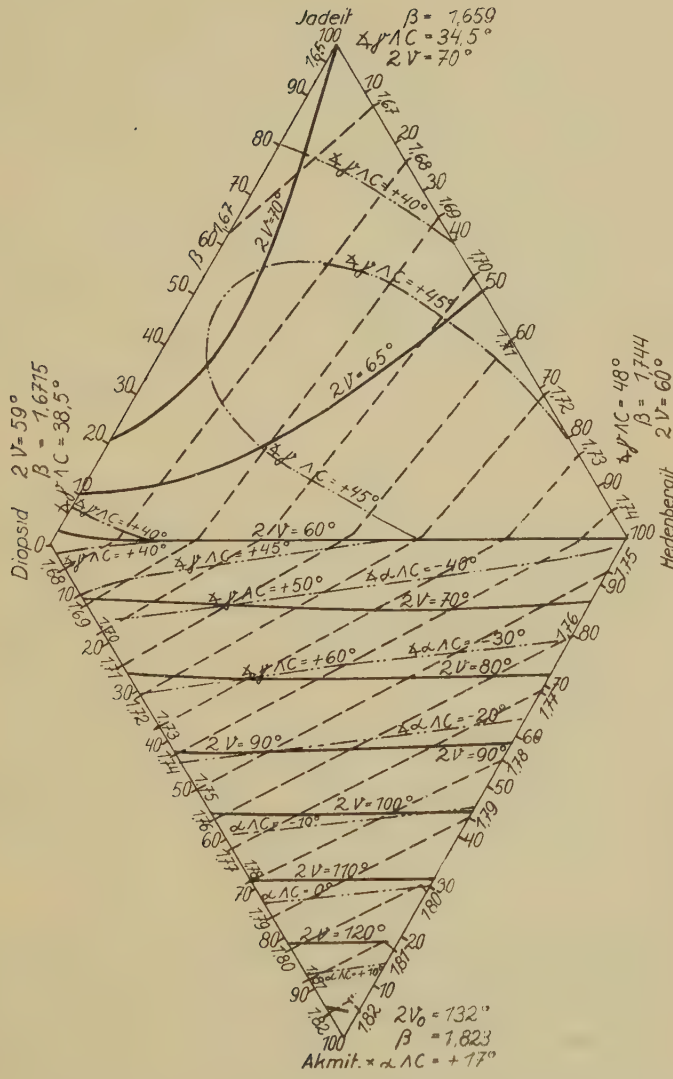


Fig. 28 Beziehung zwischen Zusammensetzung und optischer Charakteristik der monoklinen Pyroxene der Reihen Jadeit-Diopsid-Hedenbergit und Akmit-Diopsid-Hedenbergit (nach Winchell).

der Bronzitreihe im System SiO_2—FeO—MgO—CaO angestellt hatte, dehnte *H. E. Boeke*[1]) seine Untersuchungen auf die gemeinen, d. h. Tonerdehaltigen Augite aus (im System SiO_2—$[Al, Fe^{III}]_2O_3$—$[Mg, Fe^{II}]O$—CaO). Es ergab sich eine sehr wesentliche Abweichung von der älteren *Tschermak*schen Theorie, in der bestimmte, zum Teil sogar hypothetische Moleküle angenommen worden waren. Besonders übersichtlich gestaltete *H. E. Boeke*[2]) diese Verhältnisse durch eine spezielle Projektionsmethode. Eine eingehende Diskussion hat sich an diese statistischen Arbeiten *Boeke's* geknüpft[3]). Neuere Untersuchungen über die Isomorphieverhältnisse in der komplexen Reihe monokliner Pyroxene siehe bei *B. Goßner*[4]).

Ueber die geometrischen Beziehungen der rhombischen und monoklinen Pyroxene im Zusammenhang mit der chemischen Zusammensetzung hat *M. A. Ledoux*[5]) eingehende Betrachtungen angestellt und insbesondere die Aenderungen der topischen Parameter berechnet. Ausführliche Diagramme der optischen Eigenschaften im Zusammenhang mit dem Mischkristallcharakter der Pyroxene entwickelte neuerdings *A. N. Winchell*[6]) (Fig. 25—28); s. a. speziell über die Jadeite *H. S. Washington*[7]).

2. Die Amphibolgruppe.

Für die Stabilität der Amphibole gegenüber den Pyroxenen sind einige neuere Beobachtungen von *H. A. Brouwer*[8]) belangreich, welche die Resorption von Hornblende betreffen, die beim Aufsteigen aus großer Tiefe in einem Andesitgestein in Pyroxen überging. Auch der Wärmegehalt der Magmengesteine ist bestimmend: Hornblendeandesite typisch für submarine Bildungen, Pyroxenandesite für festländische Ergüsse, die nicht mit Meerwasser in Berührung kamen[9]).

Von der Regel, daß die Pyroxene in trockenen Schmelzen höherer Temperaturen stabiler sind, die Amphibole in nassen Magmen bei geringeren Wärmegraden, scheint es auch bemerkenswerte Ausnahmen zu geben, wie *A. Lacroix*[10]) fand, daß Riebeckit unter Umständen weniger stabil ist als der entsprechende Alkalipyroxen (Aegirin) in einem Riebeckitsyenit-Pegmatit von Alter Pedroso (Portugal).

---

[1]) H. E. Boeke, Zeitschr. f. Kryst. **53**, 445 (1914).
[2]) H. E. Boeke, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 430.
[3]) G. Tschermak, Tscherm. Min. Mitt. **32**, 520 (1914); Centr.-Bl. f. Min. 1915, 225; 1916, 1; H. E. Boeke's Antwort loc. cit. 1915, 1; siehe ferner F. Zambonini, Zeitschr. f. Krist. **55**, 132 (1915); C. Doelter, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 185.
[4]) B. Goßner, Zeitschr. f. Krist. **60**, 76—124 (1924).
[5]) M. A. Ledoux, Bull. soc. franç. min. **39**, 232—280 (1916); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 11—14.
[6]) A. N. Winchell, Amer. Journ. of Sci. [5] **6**, 504—520 (1923).
[7]) H. S. Washington, Proc. U. S. Nat. Mus. **60**, 1—12 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 351 f.; Journ. Wash. Acad. Sci. **12**, 387—391 (1922); Proceed. Nat. Acad. Sci. 8, 1922, Nr. 11, 319—326; Ref. loc. cit. 350, 352.
[8]) H. A. Brouwer, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **28**, 656 bis 665 (1920).
[9]) H. A. Brouwer, Compt. rend. **173**, 240 ff. (1921).
[10]) A. Lacroix, Compt. rend. **163**, 279 (1916).

Gleicherweise wie *H. E. Boeke* bei den Pyroxenen verfahren war, untersuchte auch *W. Eitel*[1]) die Grenzen der Mischkristallbildung in den gemeinen tonerdehaltigen Hornblenden auf statistisch-analytischem Wege im System SiO_2—R_2O_3—(Fe, Mg)O—CaO. Des weiteren dehnte er seine Betrachtungen auch auf die Alkaliamphibole aus, wobei er spezielle, schon von *H. E. Boeke*[2]) entwickelte Projektionsmethoden benutzte. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen stimmen mit den Erfordernissen der *Tschermak*'schen Theorie (1871) befriedigend überein. Siehe auch neuere Untersuchungen bei *B. Goßner*[3]).

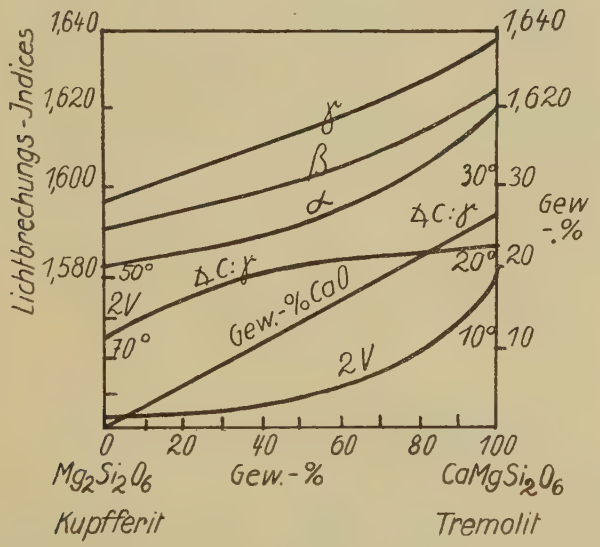


Fig. 29 Beziehung zwischen den optischen Eigenschaften und der Zusammensetzung in der Reihe der monoklinen Amphibole $Mg_2Si_2O_6$—$CaMgSi_2O_6$, einschließlich Kupfferit und Tremolit (nach Winchell).

Den Zusammenhang der Zusammensetzung der Amphibole mit dem optischen Verhalten machte *A. N. Winchell*[4]) zum Gegenstand ausführlicher diagrammatischer Untersuchungen (Fig. 29—31). Die wichtige Tatsache ergibt sich, daß das dem Diopsid-Molekül der Pyroxengruppe entsprechende Ca-Mg-Silikat auch in der Amphibolgruppe auftritt[5]); vgl. S. 60. Ein spezielles optisches Diagramm der monoklinen Ca-armen Amphibole der

[1]) W. Eitel, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **47**, 200 ff. (1922).
[2]) H. E. Boeke, N. Jahrb. 1916, I, 118—125.
[3]) B. Goßner, Zeitschr. f. Krist. **60**, 76—124 (1924).
[4]) A. N. Winchell, Amer. Journ. of Sci. [5] **7**, 287—310 (1924).
[5]) Vgl. N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [4] **38**, 207 (1914).

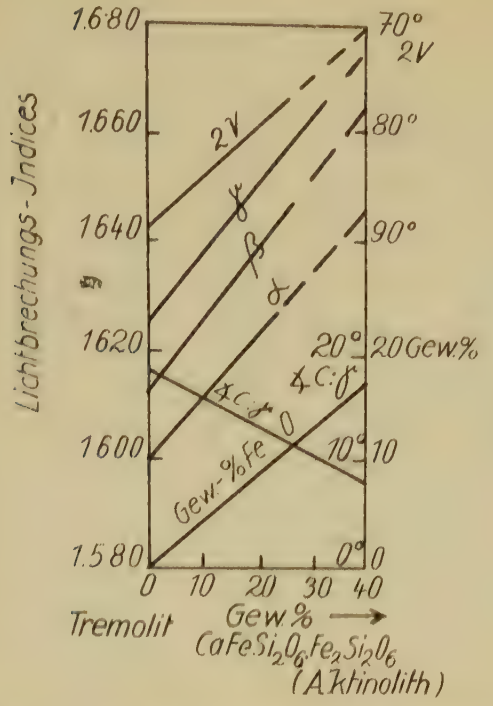


Fig. 30 Beziehung zwischen optischen Eigenschaften und Zusammensetzung in der Reihe Tremolit-Actinolith (nach Winchell).

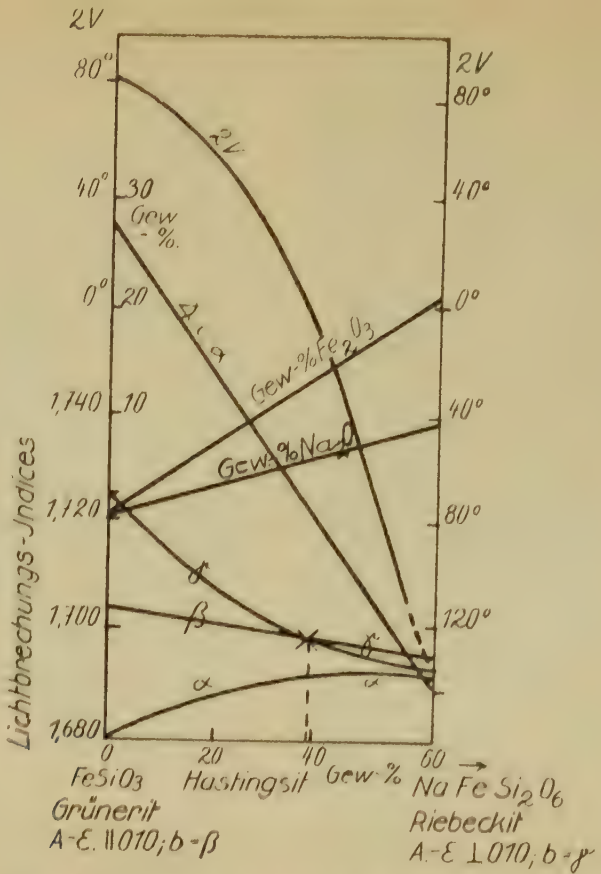


Fig. 31 Beziehung zwischen optischen Eigenschaften und Zusammensetzung in der Reihe Grünerit-Riebeckit (nach Winchell).

Grünerit-Cummingtonitgruppe gab *N. Sundius* [1]) (Fig. 32). Ueber die blauen Alkaliamphibole siehe die speziellen Abhandlungen von *G. Murgoci* [2]).

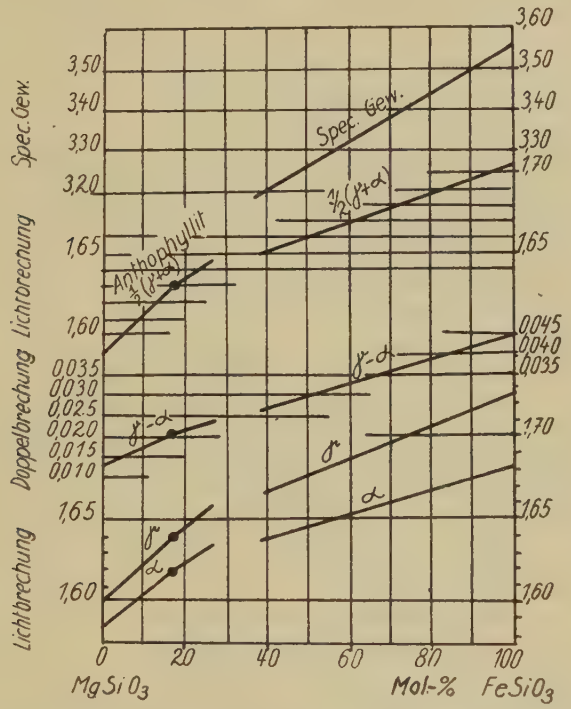


Fig. 32 Optisches Diagramm der monoklinen kalkarmen Amphibole der Grünerit-Cummingtonit-Reihe (nach Sundius).

3. Die Glimmergruppe.

Die vollständige Bearbeitung der Mischkristallbildung in der Glimmergruppe auf Grund statistischer Untersuchungen führte *H. E. Boeke* [3]) durch. Die Zusammensetzung des Muscovits ergab sich in naher Uebereinstimmung mit der *Tschermak*'schen Theorie, dagegen weicht die der Biotite von der ihr entsprechenden Linie Muscovit-Olivin ab.

Den Zusammenhang der optischen Eigenschaften der Biotite mit der Zusammensetzung behandelte *F. F. Grout* [4]); in Einzelheiten weicht diese Darstellung von einer anderen, von *W. Kunitz* [5]) gegebenen, ab. Die Unter-

[1]) N. Sundius, Geol. Fören. Förhdl. **46**, 154—167 (1924).
[2]) G. Murgoci, Compt. rend. **175**, 372 ff., 426 ff. (1922); **160**, 631 ff. (1915); siehe auch B. Goßner, Zeitschr. f. Krist. **60**, 302—310 (1924).
[3]) H. E. Boeke, N. Jahrb. 1916, I, 83—117.
[4]) F. F. Grout, Amer. Min. **9**, 159—165 (1924).
[5]) W. Kunitz, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **50**, 365—413 (1924).

suchungen des letzteren hat *F. Rinne* auf Grund seiner älteren Erfahrungen des kristallographisch-chemischen Abbaus der Glimmer [1]) erweitert und röntgenographisch zur Konstitutionsbestimmung verwertet. Es ergab sich, daß die Entfernung des Wassers des Glimmers, gleichwie die Oxydation oder Reduktion seines Eisengehaltes keine konstitutionell tiefergreifenden Vorgänge sein können. Die orthosilikatische Auffassung ihrer Formel wird von *F. Rinne* also abgelehnt [2]).

Der Wassergehalt des Glimmers war schon 1905 und 1910 von *Coblentz* durch die Absorptionsbänder im ultraroten Spektrum als konstitutiv, dem Raumgitter zugehörig erkannt worden [3]). Es ist damit ein höchst bemerkenswertes valenztheoretisches Problem angeschnitten, welches auch *W. Kossel* [4]) diskutiert hat.

Ueber das Phänomen der Rutilentmischung des Glimmers siehe insbesondere *P. Niggli* [5]).

4. Die Granatgruppe.

Nach der 1913 von *H. E. Boeke* gegebenen statistischen Behandlung der Granatmineralien hat *W. E. Ford* [6]) eine noch vollständigere Uebersicht in Dreiecksdiagrammen gegeben, in denen die Kurven gleicher Lichtbrechung und Dichte eingetragen sind. Auch hat *W. Eitel* im Fünfstoffsystem der Granate statistisch-analytisch gezeigt, daß die ternären Granate die häufigsten Mischungstypen sind [7]). *H. Backlund* [8]) hat stark Fe_2O_3-haltigen Granat, ähnlich dem Almandin beobachtet.

5. Die Turmalingruppe.

Auf Grund der Erfahrungstatsache, daß das Verhältnis Si : B im Turmalin trotz dessen komplexer Mischkristallnatur immer gleich 4 : 1 ist, hat *H. E. Boeke* [9]) statistisch die Grenzen ihrer Mischbarkeit festgelegt. Analog der bei den Kali-haltigen Nephelinen (s. o.) gegebenen Bemerkung, daß gewisse Konzentrationsverhältnisse in der Natur nicht vorzukommen pflegen, deutet *H. E. Boeke* auch eine zwischen den Alkali- und den Magnesia-Eisen-Turmalinen scheinbar auftretende Mischungslücke durch die Seltenheit natürlicher Lösungen des mittleren Konzentrationsverhältnisses.

---

[1]) cf. F. Rinne, Das feinbauliche Wesen der Materie, 2. u. 3. Aufl., 1923, 123 f.

[2]) F. Rinne, siehe SB. d. Sächs. Ges. d. Wiss., math.-phys. Kl. **76**, 1—11 (1924).

[3]) Siehe dazu besonders die Studien von Cl. Schaefer u. M. Schubert, Anm. d. Phys. **50**, 339 (1916) über Salzhydrate.

[4]) W. Kossel, Die Naturwiss. **7**, 364 (1919).

[5]) P. Niggli, Preisschr. d. Jablonowski'schen Ges. Leipzig **47**, 212 (1920).

[6]) W. E. Ford, Amer. Journ. of Sci. [4] **40**, 33—49 (1915); Ref. N. Jahrb. 1917, 22 ff.

[7]) W. Eitel, Zeitschr. f. Krist. **56**, 526—531 (1921).

[8]) H. Backlund, Geol. Fören. Förhdl. **40**, 120 ff. (1918).

[9]) H. E. Boeke, N. Jahrb. 1916, II, 109—148.

6. Die Epidotgruppe.

Ganz analog handelte *W. Eitel*[1]) statistisch die Epidotmineralien ab; interessant sind vor allen Dingen die dimorphen Beziehungen zwischen Epidot (Pistazit) und Zoisit.

7. Die Melilithgruppe.

Durch die sehr ausführlichen Studien von *F. A. Buddington*[2]) sind wir heute in der Melilithgruppe als der bestbekannten polynären Mineraliengruppe orientiert über die wichtigsten Schmelzgleichgewichte, Mischkristallbildungen und Entmischungen. Auch hat *F. A. Buddington* eingehende Bestimmungen über die Lichtbrechungseigenschaften der Melilithe ausgeführt. Wichtig ist die Tatsache, daß die natürlichen Melilithe (Humboldtilite) in das Gebiet der niedrigst schmelzenden Mischungen dieser systematischen synthetischen Versuche fallen. Damit sind auch die theoretischen Deutungen der Melilithe als Mischkristalle von Gehlenit (Velardeñit), Åkermanit und Kalk-Natron-Sarkolith bestätigt (einschließlich gewisser eisenhaltiger Typen des Åkermanits und Sarkoliths), wie sie *W. T. Schaller*[3]) und *F. W. Clarke*[4]) aufgestellt haben. Neuerdings gibt *A. N. Winchell*[5]) eine andere Auffassung der Melilithe als Mischkristalle der Moleküle des Gehlenits und Åkermanits mit den Verbindungen $Ca_3Si_2O_7$; $Na_2Si_3O_7$ und freiem SiO_2.

8. Die Cancrinitgruppe und die Sodalithe.

Interessant ist der Befund von *E. S. Larsen* und *G. Steiger*[6]), daß auch SO_3 (im Sulfatcancrinit) in das Cancrinitmolekül einzutreten vermag.

Eine Synthese der einfachen Cancrinite des Typus $3\,NaAlSiO_4 . CaCO_3$ gelang *W. Eitel*[7]) bei Aufnahme des Systems $NaAlSiO_4$—$CaCO_3$ bei ca. 110 kg/qcm CO_2-Druck. Das flache verdeckte Maximum dieses Cancrinits deutet auf seinen inkongruenten Zerfall beim Schmelzen hin. Diese Beobachtungen ergänzen die Naturbeobachtungen von *R. Brauns*[8]) sowie vor allem die Umwandlung des Nephelins in Cancrinit, wie sie im Fengebiet von *W. C. Brögger*[9]) beobachtet wurde (vgl. auch zur Genesis des Cancrinits *P. Niggli*[10]).

---

[1]) W. Eitel, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **40**, 173—271 (1919).
[2]) F. A. Buddington, Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 35—87 (1922); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 25—30.
[3]) W. T. Schaller, U. S. Geol. Surv. Bull. **610**, 106—128 (1916).
[4]) F. W. Clarke, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 476 (1917); Ref. N. Jahrb. 1921, I, 283ff.
[5]) A. N. Winchell, Amer. Journ. of Sci. [5] **8**, 375—384 (1924).
[6]) E. S. Larsen u. G. Steiger, Amer. Journ. of Sci. [4] **42**, 322 (1916); **43**, 420 (1917); Ref. N. Jahrb. 1922, I, 313.
[7]) W. Eitel, N. Jahrb. f. Min. 1922, II, 45.
[8]) R. Brauns, N. Jahrb. Beil.-Bd. **35** (1912).
[9]) W. C. Brögger, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math.-natv. Kl. 1920, Nr. 9.
[10]) P. Niggli, Die Gesteins- u. Mineralprovinzen, I, 154ff., 176ff.

Auf interessante Beziehungen der Cancrinite zu den Kalk-Mejoniten weist *L. H. Borgström*[1]) hin; der von *J. Lemberg* 1876 am Vesuv gefundene „Kalk-Cancrinit" ist mit *L. H. Borgström's* Karbonatmejonit identisch.

9. Die Skapolithgruppe.

H. L. Borgström[2]) hat vor allen Dingen die Mischkristallkomponenten der Skapolithe des Näheren festgestellt und die Chlorid-, Sulfat- und Karbonat-Komponenten unterschieden. In seiner Untersuchung des Kirunagebietes[3]) konnte *N. Sundius* auch den Eintritt des Wassers durch Annahme der Salzkomponenten $NaHCO_3$, $NaHSO_4$ in den Skapolithen erweitern und die sehr ausgedehnten regional-metamorphen Skapolithisierungen des westlichen Kirunagebietes genetisch verfolgen. Nach *R. Brauns*[4]) sind die Skapolithe speziell auch des Laacher See-Vorkommens sehr reich an dem Sulfatmejonit-Molekül (Silvialith). Auch durch die neueren Arbeiten von *J. Schetelig*[5]), *A. Laitakari*[6]) und *A. Lacroix*[7]) sind unsere Kenntnisse der Skapolithgruppe erheblich vorangeschritten.

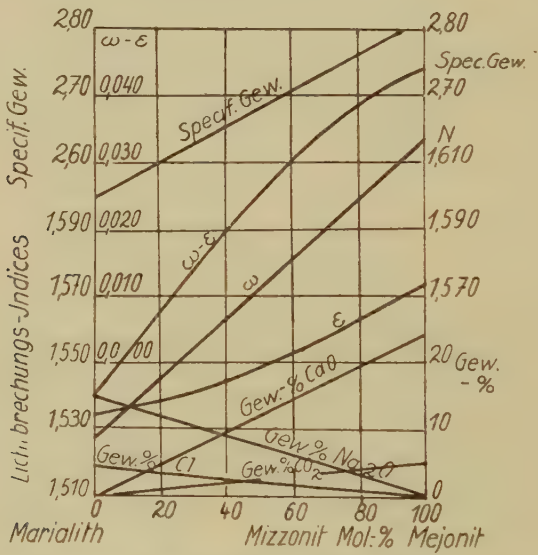


Fig. 33 Beziehung zwischen Zusammensetzung und physikalischen Eigenschaften der Skapolithe (nach Winchell).

---

[1]) L. H. Borgström, Oefvers. Finsk. Vetensk. Soc. Förhdl. **57**, Afd. A., Nr. 6, 1—3 (1914/15).

[2]) L. H. Borgström, Zeitschr. f. Krist. **54**, 238—260 (1914); Teknikern (Helsingf. 1914); Ref. N. Jahrb. 1915, II, 143ff.

[3]) N. Sundius, Geologie des Kirunagebietes **4** (Upsala 1915), bes. 197ff., sowie Akadem. Abhandlung (Upsala), 195, 197—224.

[4]) R. Brauns, N. Jahrb. Beil.-Bd. **39**, 79—125 (1914); 1917, 9—44.

[5]) J. Schetelig, Norsk Geol. Tidsskr. **3**, Nr. 6 (1915).

[6]) A. Laitakari, Bull. Com. Géol. Förhdl. **46**, 1—39 (1916).

[7]) A. Lacroix, Compt. rend. **169**, 261—264 (1919).

Nach dem Vorgang von *A. Himmelbauer* (1910) gab ferner *N. Sundius*[1]) eine eingehende Diskussion des Zusammenhangs von chemischer Zusammensetzung der Skapolith-Mischkristalle mit deren optischem Verhalten. Auch hat neuerdings *A. N. Winchell*[2]) graphische Darstellungen durchaus ähnlicher Art gegeben (siehe Fig. 33).

10. Polynäre Systeme von Silikaten mit Sulfiden usw.

Nach seinen ausgezeichneten Monographien über das Verhalten der Silikatschmelzlösungen (1903) legte *J. H. L. Vogt* in seinen Untersuchungen von 1918[3]) einen reichen Schatz von physikalisch-chemischen Erfahrungen über die Silikat-Sulfidschmelzen in technischen Schlacken, Gesteinen und Meteoriten nieder. Vor allen Dingen sind die Erscheinungen begrenzter Mischbarkeit im flüssigen Zustande dabei bemerkenswert. Eine merkwürdige Ausnahme scheint aber das System CaS— kermanit zu machen; freilich ist zu beachten, daß *J. H. L. Vogt* als Åkermanit eine Kristallart $4\,CaO\,.\,3\,SiO_2$ bezeichnet, welche indessen unwirklich ist. Nach dem früher Ausgeführten ist allein die Verbindung $3\,CaO\,.\,2\,SiO_2$ (als Kalkjustit) im System SiO_2—CaO beobachtet, und der wirkliche Åkermanit ist der Kalk-Magnesia-Justit der Formel $2\,CaO\,.\,MgO\,.\,2\,SiO_2$.

Von hohem Interesse sind auch *J. H. L. Vogt's* Hinweise auf das Schmelzverhalten von Silikaten (z. B. Melilith), Spinell und Sulfid (z. B. CaS), und es hat sich gezeigt, daß dabei im allgemeinen das Sulfid noch vor dem Spinell zu kristallisieren vermag. Jedenfalls ergab sich aus den eingehenden Studien *J. H. L. Vogt's*, daß die Eutektika zwischen Sulfiden und Silikaten bei sehr geringen Konzentrationen der ersteren gelegen sind. Für die in sehr kleinen Mengen am Anfang der magmatischen Erstarrung sich ausscheidenden Gemengteile (so der Sulfide) schlägt *J. H. L. Vogt* die Bezeichnung als „telechemische" Substanzen vor, an Stelle des allgemeineren Begriffs der accessorischen.

In einem sehr bemerkenswerten Zusammenhang mit diesen Erfahrungstatsachen stehen die Erörterungen von *V. M. Goldschmidt*[4]) über die Differenzierung der verschiedenen Tiefenschalen der Erdrinde und ihren Stoffwechsel, läßt er doch der gemeinen Silikathülle in größerer Tiefe als 120 km (bis 1200 km) eine Eklogitschale folgen, auf die (bis 2900 km Tiefe) eine Sulfid-Oxydschale ihrerseits folgt, bis zum Metallkern der Erde. Die Verteilung der Elemente in diesen vier Zonen ist Gegenstand einer weiteren Studie von *V. M. Goldschmidt*[5]).

---

[1]) N. Sundius, Bull. Geol. Inst. Upsala **15**, 1—12 (1916); **16**, 96—106 (1918).
[2]) A. N. Winchell, Amer. Min. **9**, 108—112 (1924).
[3]) J. H. L. Vogt, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math.-natv. Kl. 1918, Nr. 1, 132 S.
[4]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math.-natv. Kl. 1922, Nr. 10; Ref. N. Jahrb. 1924, I, 45ff., Die Naturwiss. **10**, 918—920 (1922).
[5]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math.-natv. Kl. 1923, Nr. 3; Ref. N. Jahrb. 1924, I, 47ff.

11. Polynäre Auffassung der Apatitmineralien

vertritt *P. Ramdohr*[1]); das von ihm gegebene statistische Zustandsdiagramm zwischen Chlor-, Fluor- und Hydroxyd-Apatit ergibt eine lückenlose Mischungsreihe zwischen den ersteren beiden nebst einem kritischen ternären Punkte.

Die magmatischen Gase.

Allgemeines.

Von allgemeineren Gesichtspunkten aus hat *P. Niggli*[2]) vor allem den Begriff der Destillationstendenz entwickelt. Vor allem hat die Frage nach der Rolle des Wasserdampfes[3]) in den vulkanischen Gasen eine eingehende Erörterung erfahren, in Fortsetzung der von *A. Brun* (1911) eingeleiteten Diskussion. *A. Brun* hat auch in neueren Arbeiten[4]) seinen Standpunkt der im wesentlichen trockenen Exhalationen festgehalten. In einigen späteren Arbeiten[5]) betonte *A. Brun*, daß die Anwesenheit von Wasserdampf in den magmatischen Gasen die Ferroverbindungen der Silikatgesteine ganz in solche des dreiwertigen Eisens überführen müßte; er nimmt also an, daß ein Gleichgewicht zwischen Ferrosilikaten und Wasserdampf auftreten müsse, das zur Bildung von Eisenoxyd führen soll. Nun hat aber eine sorgfältige Untersuchung von *J. B. Ferguson*[6]) gezeigt, daß der Schluß von *A. Brun* unrichtig ist; der Wasserdampf verhält sich gegen Ferrosilikate fast völlig indifferent.

Sehr interessant sind die Ergebnisse von *W. Hempel* und *R. Zünckel*[7]) über die Schmelzung von Silikaten unter hohem Wasserdampfdruck, wodurch die natürlichen Obsidiane erklärt werden, besonders auch in ihrem Verhalten beim Erhitzen. Aehnliche Beobachtungen machten auch *K. Endell*[8]) und *M. Goldschlag*[9]).

Ammoniak und Sauerstoff in nennenswerter Menge konnte *G. P. Pamfil*[10]) in eruptiven Gesteinen nachweisen.

Seit den klassischen Ergebnissen der Expedition von *A. L. Day* und *E. S. Shepherd* an den Lavasee Halemaumau auf dem Kilauea, Hawaii (1912), ist es wiederholt gelungen, Gasproben dem flüssigen Magma zu entnehmen und zur Analyse zu bringen, und die Einrichtung ständiger Ueber-

---

[1]) P. Ramdohr, Jahrb. Preuß. Geol. Land.-Anst. **40**, I, 284—353 (1920).
[2]) P. Niggli, Verhdl. Schweizer Naturf.-Ges. (Neuenburg 1920).
[3]) Siehe eine orientierende Uebersicht bei K. Sapper, Die Naturwiss. **6**, 469—473 (1918).
[4]) A. Brun, Compt. rend. **158**, 149 (1914); Act. soc. helvét. d. sci. nat. (Genf 1915), 11, 163; Ref. von P. Niggli, N. Jahrb. 1918, 37ff.
[5]) A. Brun, Arch. sci. phys. et nat. Genf **121**, 401—418 (1916); Bull. soc. franç. min. **37**, 31—38 (1914); **38**, 275—278 (1915); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 75.
[6]) J. B. Ferguson, Journ. Wash. Acad. Sci. **9**, 539 (1919).
[7]) W. Hempel u. R. Zünckel, Zeitschr. f. angew. Chem. **29**, 173 (1916).
[8]) K. Endell, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 69.
[9]) M. Goldschlag, loc. cit. 665ff.
[10]) G. P. Pamfil, Bull. soc. sci. de l'Acad. Roum. **3**, 72—81 (1914).

wachungs-Stationen auf den Hauptvulkanen der Erde [siehe z. B. *C. D. Walcott* über das Kilauea-Observatorium[1]); vgl. auch *H. S. Washington* zum vulkanologischen Problem[2])] verspricht erhebliche Förderung der bisherigen Kenntnisse von den magmatischen Gasen. Eine Reihe ausgezeichneter Untersuchungen nebst Analysen gab bereits *E. S. Shepherd, E. T. Allen* und *T. A. Jaggar*[3]); eine eingehende Studie von *T. A. Jaggar* über den Kilauea[4]). Siehe ferner *E. T. Allen's* große Arbeit[5]).

Bei weitem die gründlichsten Kenntnisse aber verdanken wir den umfangreichen Untersuchungen über die ungeheure Eruption des Katmai (1912) und die Fumarolentätigkeit im Tale der zehntausend Dämpfe; hier haben vor allen Dingen *J. W. Shipley*[6]), *Cl. N. Fenner*, sowie *E. T. Allen* und *E. G. Zies*[7]) ausgezeichnete Beobachtungen niedergelegt. Besonders auch das thermodynamische Bild der Mechanismen solcher Vulkaneruptionen und -Exhalationen ist dadurch wesentlich geklärt, wird doch durch die Gasreaktionen, insbesondere durch oberflächliche Verbrennung, die Abkühlung der Laven wesentlich verlangsamt. Anderseits zeigt sich auch die Abkühlung bei schneller adiabatischer Expansion der Gase durch Bildung großer Massen von sehr proröser (sog. Aa-) Lava, deren Bildung nur durch eine fast momentane Abkühlung von innen heraus ungezwungen sich erklären läßt. Besonders eingehend hat *H. S. Washington*[8]) die Zusammenhänge der Fluidität, Entgasung und Kristallisation an solchen Laven dargelegt.

Löslichkeit von Gasen in Schmelzen.

Neuere Versuche von *A. Sieverts* in Gemeinschaft mit *E. Jurich* und *A. Metz*[9]) betreffen gleich älteren (von 1910) die Löslichkeit von Wasserstoff in Edelmetallschmelzen, in die auch nach der Erstarrung dieses Element in fester Lösung eingeht; es ergaben sich bemerkenswerte Zusammenhänge der Absorption mit dem Leitvermögen, der Thermokraft und der Zugfestigkeit. Vor allen Dingen sind in diesem Zusammenhang auch die wichtigen Untersuchungen von *E. W. Washburn, F. F. Footitt* und

---

[1]) C. D. Walcott, Proc. Nat. Acad. Sci. **6**, 706—716 (1920); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 71.

[2]) H. S. Washington, loc. cit. 583—592; Ref. loc. cit. 65.

[3]) E. S. Shepherd, E. T. Allen u. T. A. Jaggar, Monthly Bull. Hawaiian Volc.-Observ. **7**, Nr. 27 (1919); **8**, Nr. 5 (1920); **9**, Nr. 5 (1921); **10**, 89—92 (1922).

[4]) T. A. Jaggar, Amer. Journ. Sci. [4] **43**, 255—288 (1917); **44**, 161—220 (1917); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 73, 76—79).

[5]) E. T. Allen, Journ. Franklin-Inst. **193**, 29—80 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 65ff.

[6]) J. W. Shipley, Amer. Journ. Sci. [4] **50**, 141—153 (1920); Ref. N. Jahrb. 1925, I, 72f.

[7]) Cl. N. Fenner, E. T. Allen u. E. G. Zies, Journ. of Geol. **28**, 569—606 (1920); Contrib. Techn. Pap. Nat. Geogr. Soc., Katmai Pap. 1923, Nr. 1, 1—74, und Nr. 2, 75—155; Ref. loc. cit. 69—77.

[8]) H. S. Washington, Amer. Journ. Sci. [5] **6**, 409—423 (1923).

[9]) A. Sieverts, E. Jurich und A. Metz, Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 329 (1915).

E. N. Bunting[1]) zu nennen, deren Anordnung zur Entwicklung der Gase aus erhitztem Glase in Fig. 34 wiedergegeben ist. Des weiteren siehe auch *G. A. Williams* und *J. B. Ferguson* über die Löslichkeit des Heliums und des Wasserstoffs in erhitztem Kieselglas und die Beziehung dieser Löslichkeit zu der Wärmedurchlässigkeit desselben für diese Gase[2]). Ueber die Absorption von Wasserstoff in Kieselglas macht auch *X. Wüstner*[3]) Angaben von hohem Werte; bei 700—1000° zeigt sich die Absorption von Wasserstoff im Kieselglas von der gleichen Größenordnung wie diejenige von Wasserstoff in Wasser bei gewöhnlicher Temperatur.

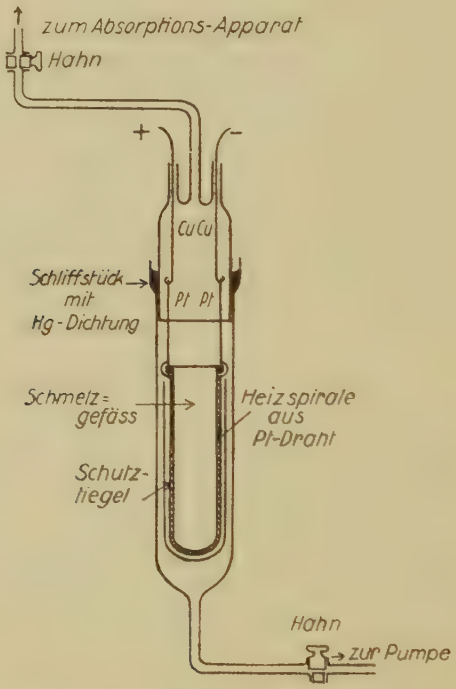


Fig. 34 Vorrichtung zur Austreibung absorbierter Gase aus Silikatgläsern im Vakuum (nach Washburn, Footitt und Bunting).

In Analogie zu den schon (1891) von *C. Barus* hergestellten stark H_2O-haltigen Silikatschmelzen und den von *Hempel* und *Zünckel* (s. o.) gewonnenen Obsidiangläsern konnte *G. W. Morey*[4]) harte spröde Alkalisilikat-

[1]) E. W. Washburn, F. F. Footitt u. E. N. Bunting, Univ. of Illin. Bull. Engin. Experim. Stat. **118** (1920); **18**, Nr. 15, 1—39.
[2]) G. A. Williams u. J. B. Ferguson, Journ. Amer. Chem. Soc. **46**, 635—639 (1924).
[3]) X. Wüstner, Ann. d. Phys. [4] **46**, 1095—1129 (1915).
[4]) G. W. Morey, Zeitschr. f. anorg. Chem. **86**, 305 (1914).

gläser darstellen, mit einem Wassergehalt von 8—25 Proz. H_2O; bei höheren H_2O-Gehalten bilden sich steife Pasten bis zähe Lösungen.

Gasgleichgewichte.

Allgemeines im Hinblick auf die vulkanischen Erscheinungen siehe bei *A. L. Day*[1]).

Literatur seit 1913 bis 1915 siehe bei *H. von Wartenberg*[2]). Eine kurze Darstellung der Anwendung des *Nernst*'schen Wärmetheorems nebst Beispielen gab *W. Eitel*[3]).

Das Wassergasgleichgewicht $CO_2 + H_2 \rightleftharpoons H_2O + CO$ wurde von *W. Reinders*[4]) für 527° und 1127° neu bestimmt; K bzw. = 0,22 und 2,12.

Das *van't Hoff*'sche Gesetz der Reaktionsisochore wurde von *W. Reinders*[5]) erneut theoretisch diskutiert.

Der von *Nernst*[6]) oft benutzte Ansatz

$$\ln K = \frac{Q_0}{RT} - \frac{\alpha}{R} \ln T - \frac{\beta}{R} \cdot T - \frac{\gamma}{2R} T^2 - \cdots + C$$

wurde von *J. B. Ferguson*[7]) auf die vulkanologisch besonders wichtige Reaktion

$$4CO + 2SO_2 \rightleftharpoons S_2 + 4CO_2$$

angewandt. Für das Gleichgewicht des *Deacon*-Prozesses

$$4HCl + O_2 \rightleftharpoons 2H_2O + 2Cl_2,$$

welches schon von *Haber* und *Vogel von Falckenstein* (1905, 1907, 1909) untersucht worden war, findet *W. D. Treadwell*[8]) den einfachen Ausdruck (zwischen 300° und 1800° geltend)

$$\log Kp = \frac{6034}{T} - 6{,}972.$$

Von erheblichem Interesse ist auch die von *M. Planck*[9]) abgeleitete Beziehung

$$\frac{\partial \ln K}{\partial p} = -\frac{\Delta V}{RT},$$

welche den Druckeinfluß auf die Gleichgewichts-Konstante einer Gasreaktion (auch für verdünnte Lösungen gültig) bestimmt. Reaktionen bei hohen Gasdrucken hat vor allen Dingen *F. Haber* bei seinen berühmten Untersuchungen über die Ammoniakbildung aus den Elementen benutzt[10]).

---

[1]) A. L. Day, Ann. Rep. Geophys. Labor. Carnegie-Inst. Yearbook **15**, 141 ff. (1916); **16**, 133—135, 137—140 (1917); **18**, 153—155 (1919).
[2]) H. von Wartenberg, Zeitschr. f. Elektrochem. **21**, 464 (1915).
[3]) W. Eitel, Fortschr. d. Min. **8**, 7—68 (1923), besonders siehe 43 ff.
[4]) W. Reinders, Chem. Weekbl. **15**, 180—187 (1918).
[5]) W. Reinders, Chem. Weekbl. **13**, 1297 (1916).
[6]) Nernst, zuletzt siehe Theoret. Chem. 8. Aufl. 1921, 739 ff.
[7]) J. B. Ferguson, Journ. Amer. Chem. Soc. **40**, 1643 (1918).
[8]) W. D. Treadwell, Zeitschr. f. Elektrochem. **23**, 177—179 (1917).
[9]) M. Planck, z. B. Thermodynam. 4. Aufl. 1913, § 257, Gl. 220.
[10]) Vgl. Zeitschr. f. Elektrochem., sieben Abhandlungen in den Bänden **20** (1914), **21** (1915).

Auf dem Gebiete über Gasreaktionen mit festen Stoffen (in heterogenen Phasengleichgewichten) haben wir neuere Untersuchungen von *K. Jellinek* und *A. Diethelm*[1]) über die Reaktion

$$C + CO_2 \rightleftharpoons 2CO$$

bei 800—1000°C und Drucken bis 50 Atm. zu nennen.

Besonders aber die wichtige Rolle der Eisenverbindungen in den Silikatgesteinen in ihrem Einfluß auf die Zusammensetzung der vulkanischen Gasexhalationen wurde wiederholt quantitativ untersucht (vgl. dazu *A. Brun*, s. o. S. 80) So hat *W. Reinders*[2]) die Reaktion $FeO + H_2 \rightleftharpoons Fe + H_2O$ und *J. B. Ferguson*[3]) die entsprechende $3FeO + H_2O \rightleftharpoons Fe_3O_4 + H_2 + 15400$ cal untersucht, wobei der letztgenannte Autor freilich die Realität dieser Reaktion in Frage stellt, weil die entstehende „Magnetit"-Phase keine konstante, sondern durch Mischkristallbildung variable Zusammensetzung habe. Vor allen Dingen hat *J. B. Ferguson* gezeigt, daß von einer Einwirkung

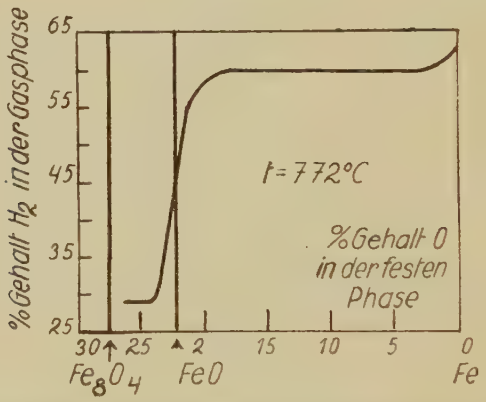


Fig. 35 Gleichgewichtskurve der Reaktion der Eisenoxyde mit Wasserstoff (nach Eastman und Evans).

des Wasserdampfes auf Ferrosilikate der Lavagesteine keine Rede sein kann. Im Zusammenhang damit ist auch die Untersuchung von *G. Chaudron* und *H. Forestier*[4]) von Bedeutung, nach denen bei 570° C die Reaktion $4FeO \rightleftharpoons Fe + Fe_3O_4$ einsetzt; oberhalb 570° ist also das Eisenoxydul als solches gar nicht mehr beständig. In einer sehr ausführlichen Untersuchung über die Gleichgewichte der Eisenoxyde mit Wasserstoff haben *E. D. Eastman* und *R. M. Evans*[5]) im einzelnen wertvolle Diagramme gegeben, von denen hier nur das der Zusammenhänge der Eisenoxyde mit

[1]) K. Jellinek u. A. Diethelm, Zeitschr. f. anorg. Chem. **124**, 203 ff. (1922).
[2]) W. Reinders, Chem. Weekbl. **15**, 180 (1918).
[3]) J. B. Ferguson, Journ. Wash. Acad. Sci. **9**, 539—546 (1919).
[4]) G. Chaudron u. H. Forestier, Compt. rend. **178**, 2173—2176 (1924).
[5]) E. D. Eastman u. R. M. Evans, Journ. Amer. Chem. Soc. **46**, 888 bis 903 (1924).

dem Wasserstoffgehalt der Gasphase für 772° C dargestellt sei (Fig. 35) und das sich ergebende für die Wasserdampfdissoziation (Fig. 36) über Eisenoxyden.

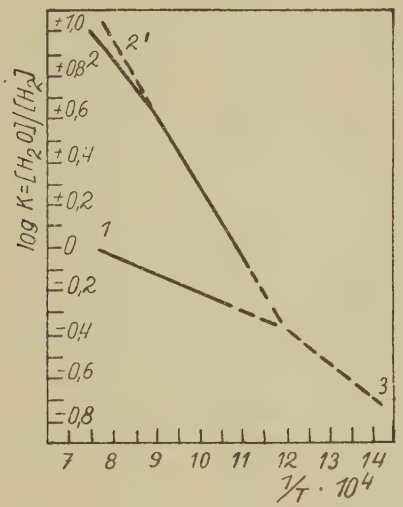


Fig. 36 Abgeleitete Gleichgewichtskurve für die Wasserdampfdissoziation über Eisenoxyden (nach Eastman und Evans).

Zu den heterogenen Gasreaktionen im weiteren Sinne gehört auch die Bildung sog. sublimierten Schwefels auf vulkanischen Lavagesteinen durch die Reaktion

$$CO + SO_2 \rightleftharpoons CO_2 + S_2\text{-Dampf},$$

welche *J. B. Ferguson*[1]) des näheren untersuchte; bei 1000 bis 1200° geht die Reaktion ganz nach rechts vor sich. Bei niedrigeren Temperaturen kann auch die Bildung von Kohlenoxysulfid einsetzen:

$$2CO + S_2 = 2COS,$$

welche in ihren Gleichgewichten von *Lewis* und *Lacey* untersucht worden ist. Ueber die Bildung von Schwefel durch Wechselwirkung von Schwefelwasserstoff mit Schwefeldioxyd siehe die Arbeit von *G. N. Lewis* und *M. Randall*[2]).

Ueber die Reduktion von Eisenverbindungen in CO-Atm. unter Anwesenheit von Kohle siehe vor allen Dingen die neuere Literatur über die Hochofenprozesse; von dieser sei hier nur genannt die Arbeit von *R. Schenck*[3]),

---

[1]) J. B. Ferguson, Journ. Amer. Chem. Soc. **40**, 1626–1644 (1918); Proc. Nat. Acad. Sci. **3**, 371 ff. (1917).

[2]) G. N. Lewis u. M. Randall, Journ. Amer. Chem. Soc. **40**, 362 (1918); auch M. Randall u. F. R. von Bichowsky, loc. cit. 368 ff.

[3]) R. Schenck, Zeitschr. f. Elektrochem. **24**, 248 (1918).

ferner die sehr gründliche Untersuchung von *A. Matsubara*[1]). Eine Anwendung auf die Kontaktmetamorphose unter Entstehung gediegenen tellurischen Eisens gab *W. Eitel*[2]). In gleicher Weise wie bei den Reaktionen der Eisenoxyde mit Wasserstoff haben *E. D. Eastman* und *R. M. Evans* (s. o.) auch die Gleichgewichte derselben im System $Fe-C-O_2$ des näheren untersucht; es sei hier nur auf das Diagramm Fig. 37 aus dieser wichtigen Arbeit aufmerksam gemacht.

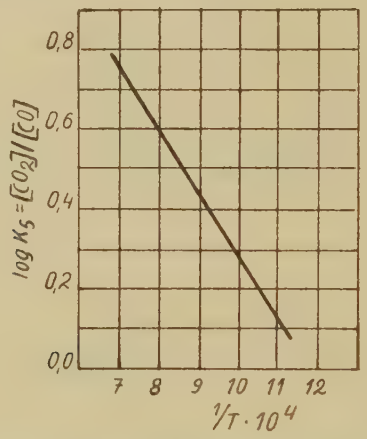


Fig. 37 Abgeleitete Gleichgewichtskurve für die Kohlenstoffoxyde über Eisenoxyden (nach Eastman und Evans).

Ein eigenartiges Problem bietet der vulkanische Salmiak, der sowohl einen dissoziierten wie auch einen undissoziierten Dampf zu bilden vermag. Die verschiedenen Dampfdruckkurven von NH_4Cl können in Zusammenhang gebracht werden mit einer von *F. E. C. Scheffer*[3]) beobachteten Umwandlung bei 184,5°. Die Dampfdrucke maßen *Smith, Calvert* und *Lombard*[4]). *R. Wegscheider*[5]) glaubt, daß eine monotrope α'-Modifikation existieren müsse, welche scheinbar stabiler sei als der α-Salmiak (ähnliche Verhältnisse wurden tatsächlich bei gelbem Phosphor usw. gefunden). *K. Hachmeister*[6]) fand den Umwandlungspunkt bei 174°; doch scheint dessen Lage stark von Verunreinigungen abzuhängen.

Ueber die Sammelkristallisation im Zusammenhang mit der Sublimation machte *A. Beutell*[7]) interessante Mitteilungen am Schwefel.

---

[1]) A. Matsubara, Transact. Amer. Inst. Min. a. Metall. Engin. 1921, Nr. 2051, 52 S.; Zeitschr. f. anorg. Chem. **124**, 39 ff. (1922).

[2]) W. Eitel, Abhandlungen d. Senckenb. Naturf.-Ges. Frankfurt a. M. **37**, 91—175 (1920).

[3]) F. E. C. Scheffer, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **24**, I, 271 (1915); **24**, II, 1513 (1916).

[4]) Smith, Calvert u. Lombard, Journ. Amer. Chem. Soc. **36**, 1373 (1914); **37**, 52 (1915).

[5]) R. Wegscheider, Zeitschr. f. anorg. Chem. **103**, 207 (1918).

[6]) K. Hachmeister, Zeitschr. d. anorg. Chem. **109**, 165—186 (1920).

[7]) A. Beutell, Centr.-Bl. für Min. 1915, 144—148.

Pegmatitisch-pyrohydatogen-hydrothermale Prozesse.

1. Allgemeines.

Es sei in erster Linie auf die ausführliche Monographie von *P. Niggli* über die leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas hingewiesen, welche eine Fülle der neuesten Beobachtungen und experimentellen Ergebnisse enthält [1]). Ueber die Destillationsvorgänge im Magma als Ursache der Differentiation siehe z. B. auch *P. Niggli* [2]). Ueber die Theorie der Mineralisatoren und ihrer Einflüsse auf die komplexen Ionengleichgewichte und Kristallisationen im Magmenschmelzfluß hat *J. Jakob* [3]) ausgezeichnete Erörterungen gegeben, welche sich z. T. an solche von *P. Pfeiffer* [4]) und vor allem an die *Werner*'sche Koordinationslehre anschlossen.

Auf dem Gebiete der Kristallisationskatalysatoren speziell hat besonders *K. A. Hofmann* und *K. Höschele* [5]) die Anwendung des $MgCl_2$ für Oxyde und Aluminate empfohlen.

Eine genetische Klassifikation der flüchtigen Bestandteile von Magmen sowie der epigenen, d. h. nachmagmatischen Bildungen entwickelte *R. A. Daly* [6]).

Viele der physikalischen Zustände flüchtiger Bestandteile im Magma bilden sich in dem Verhalten von Relikten in Gestalt von Flüssigkeits- oder Gaseinschlüssen in gesteinsbildenden Mineralien ab. So hat die Paragenese von flüssiger und dampfförmiger CO_2 mit β-Quarz nach *A. Johnsen* [7]) die Temperatur, den Druck und die Tiefenlage in der Erdrinde bei der Bildung zu bestimmen ermöglicht. Allgemein hat ferner *R. Nacken* [8]) das Verhalten der Einschlüsse (kritische Erscheinungen, Siede- und Destillationsvorgänge usw.) eingehend dargelegt.

Eine ausgezeichnete Spezialstudie von *A. Lacroix* und *A. de Gramont* [9]) behandelt die Rolle des Bors in Alumosilikaten der Magmengesteine, speziell auch die Beziehungen zwischen Bor und Fluor in den gesteinsbildenden Mineralien (Turmalin usw.) Siehe auch Studien von *A. Brun* [10]). Die Untersuchungen von *J. Simons* [11]) über die Dampfdrucke wasserfreien Fluorwasserstoffs sind von erheblichem Interesse in diesem Zusammenhang.

---

[1]) Preisschr. d. Fürstl. Jablonowski'schen Gesellsch. (Leipzig 1920).

[2]) P. Niggli, Chemie der Erde **1**, 101—126 (1915); Zeitschr. f. Vulkanol. **5**, 61—84 (1919).

[3]) J. Jakob, Zeitschr. f. anorg. Chem. **105**, 229—267 (1919).

[4]) P. Pfeiffer, loc. cit. **97**, 161—174 (1916).

[5]) K. A. Hofmann u. K. Höschele, Ber. d. D. Chem. Ges. **47**, 238 (1914).

[6]) R. A. Daly, Econ. Geol. **12**, 487—504 (1917).

[7]) A. Johnsen, SB. d. Bayr. Akad., math.-phys. Kl. 1920, 321—328; s. a. Die Naturwiss. **7**, 665, 690 (1919).

[8]) R. Nacken, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 12—20, 35—43.

[9]) A. Lacroix u. A. de Gramont, Compt. rend. **168**, 857—861 (1919).

[10]) A. Brun, Bull. Soc. franç. de min. **40**, 107—110 (1917). Ueber Fluordiopsid (Mansjöit) siehe H. von Eckerman, Geol. Fören. Förhdl. **44**, 355ff. (1922).

[11]) J. Simons, Journ. Amer. Chem. Soc. **46**, 2179—2183 (1924).

Speziell das Wasser betreffend, gab *L. Bochet*[1]) eine Kritik der älteren Messungen von *W. Watson* (1911) über die Volumina und Ausdehnungskoeffizienten des Wassers bei Temperaturen und Drucken oberhalb des kritischen Punktes. Ueber den Zusammenhang des Druckes mit der Viskosität des Wassers siehe *G. Tammann*[2]).

Die Löslichkeit von CO_2 in Wasser hat im Anschluß an ältere Messungen von *v. Wroblewski* (1883) *O. Hähnel*[3]) ausführlich bestimmt.

Eine außerordentliche Bedeutung gewinnen nach neueren Studien von *H. S. Washington*[4]) und *G. W. Morey*[5]) die Erscheinungen des zweiten Siedepunktes bei den Entgasungsvorgängen der erstarrenden Magmen, so besonders z. B. bei Entstehung der Aa-Laven. Wir werden auf diesen so interessanten Fall später zurückkommen.

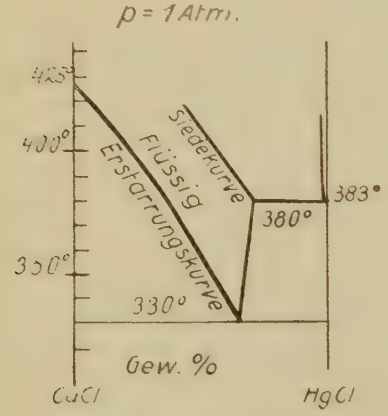


Fig. 38
System CuCl—HgCl (nach Jänecke).

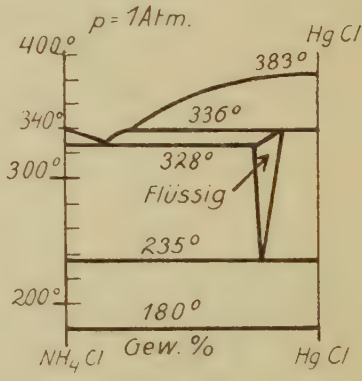


Fig. 39
System NH_4Cl—HgCl (nach Jänecke).

Höchst interessant sind auch die von *K. Hachmeister*[6]), sowie von *E. Jänecke*[7]) untersuchten Salzsysteme mit einer sublimierenden Komponente (z. B. NH_4Cl), welche die von *Bakhuis-Roozeboom* 1904[8]) vorausgesehenen Fälle in der Tat verwirklichen (vgl. Fig. 38—41).

Die Methodik der Dampfdruckmessungen bei sehr hohen Temperaturen hat besonders *O. Ruff*[9]) mit *Sus. Mugdan*[10]), speziell

---

[1]) L. Bochet, Compt. rend. **178**, 554—556 (1924).
[2]) G. Tammann, Die Aggregatzustände 1922, 246.
[3]) O. Hähnel, Centr.-Bl. f. Min. 1920, 25—32.
[4]) H. S. Washington, Amer. Journ. of Sci. [5] **6**, 409—423 (1923).
[5]) G. W. Morey, Journ. Wash. Acad. Sci. **12**, 219—230 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 59 f.
[6]) K. Hachmeister, Zeitschr. f. anorg. Chem. **109**, 145—186 (1920).
[7]) E. Jänecke, Rec. d. trav. chim. d. Pays-Bas **42**, 740—744 (1923).
[8]) Bakhuis-Roozeboom, heterog. Gleichgew. II, 1, 328 ff.
[9]) O. Ruff mit B. Bergdahl, Zeitschr. f. anorg. Chem. **106**, 76 (1919).
[10]) O. Ruff u. Sus. Mugdan, loc. cit. **117**, 147—171 (1921).

bei Alkalifluoriden[1]) sehr vervollkommnet. Vgl. a. *D. Jackson* und *J. J. Morgan*[2]) und *L. Hackspill* und *R. Grandadam*[3]).

Die Theorie von Zweistoffsystemen mit zwei flüchtigen Komponenten hat *E. D. Williamson* und *G. W. Morey*[4]) speziell für die p-t-Kurven thermodynamisch ergänzt, auf Grundlage der *Gibbs*'schen Ansätze. Auch Dreistoffsysteme mit zwei flüchtigen Bestandteilen sind nach einer von *A. Smits* (1909) gegebenen Darstellungsart leicht zu erklären, wie das *P. Niggli*[5]) gezeigt hat. Vgl. *W. Reinders* und *F. Goudriaan*[6]) über das System Cu—S—O. In den Systemen NaCl—NaOH—H_2O und KCl—KOH—H_2O hat neuerdings *A. von Antropoff* in Gemeinschaft mit *A. Marcau* und *W. Sommer*[7]) Beispiele für Dreistoffsysteme mit einer flüchtigen Komponente geben können; s. a. *H. S. Roberts* und *F. H. Smyth*[8]) in den Systemen Cu—Cu_2O—O_2 und Cu—CuO—O_2.

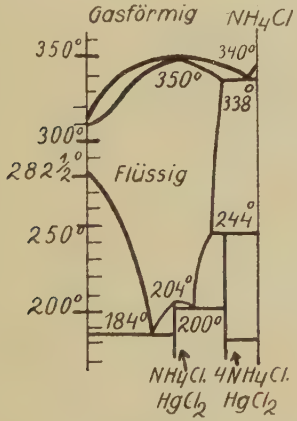


Fig. 40
System $HgCl_2$—NH_4Cl (nach Jänecke).

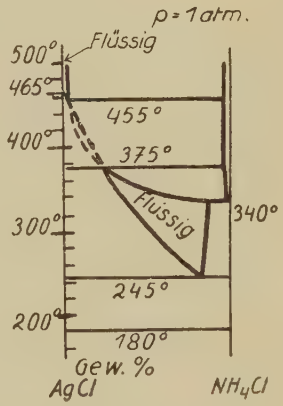


Fig. 41
System AgCl—NH_4Cl (nach Jänecke).

Mit den kritischen Erscheinungen binärer Gemische hat sich *P. Niggli* besonders eingehend beschäftigt[9]) und vortreffliche Raummodelle ersonnen[10]). Das System NH_3—H_2S wurde insbesondere von

---

[1]) O. Ruff u. Sus. Mugdan, loc. cit. **123**, 83—88 (1922).
[2]) D. Jackson u. J. J. Morgan, Journ. Ind. a. Engin. Chem. **13**, 110 (1921).
[3]) L. Hackspill u. R. Grandadam, Compt. rend. **179**, 464—467 (1924).
[4]) E. D. Williamson u. G. W. Morey, Journ. Amer. Chem. Soc. **40**, 49—59 und 59—84 (1917).
[5]) P. Niggli, Leichtfl. Bestandt. 1920, 56; Zeitschr. f. Vulkanol. **5**, 61 (1919).
[6]) W. Reinders u. F. Goudriaan, Zeitschr. f. anorg. Chem. **126**, 85 bis 103 (1923).
[7]) A. von Antropoff, A. Marcau u. W. Sommer, Zeitschr. f. Elektrochem. **30**, 457—467 (1924).
[8]) H. S. Roberts u. F. H. Smyth, Journ. Amer. Chem. Soc. **42**, 2582 bis 2607 (1920); **43**, 1061—1079 (1921).
[9]) P. Niggli, loc. cit. 30—118.
[10]) P. Niggli, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 449—465.

F. E. C. Scheffer[1]) diskutiert[2]). Das System H_2O—CO_2 ist speziell auch durch die schon erwähnten Untersuchungen über das Verhalten der Einschlüsse mit Flüssigkeitslibellen u. dgl. im β-Quarz[3]) geklärt.

Die Bildung von Verbindungen in Systemen mit flüchtigen Komponenten wird durch die sehr vollständige Untersuchung von *H. S. Roberts* und *F. H. Smyth*[4]) über das System Cu—O_2 (mit CuO und Cu_2O) illustriert. In bemerkenswerter Analogie dazu steht auch das System CaO—CO_2 (mit $CaCO_3$), welches von *F. H. Smyth* und *L. H. Adams*[5]) eingehend bearbeitet wurde und eine völlige Klärung der Schmelzerscheinungen und der Dissoziationen gebracht hat. *P. Niggli*[6]) erörterte besonders den Fall des Zusammentreffens der kritischen Kurve des binären Systems mit der Dreiphasenlinie der Verbindung, der im System CaO—CO_2 gegeben ist.

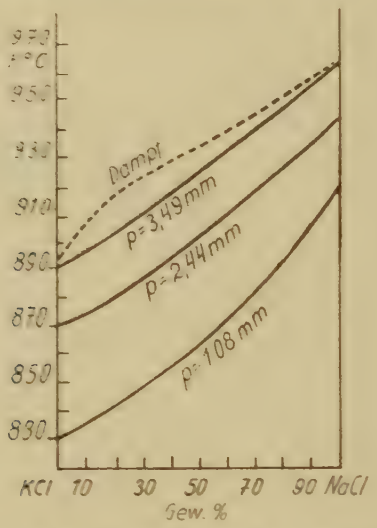


Fig. 42 t-x-Diagramm für das System KCl—NaCl für verschiedene niedere Drucke (nach Hackspill und Grandadam).

Die Bildung von binären Mischkristallen aus flüchtigen Komponenten hat neuerdings *H. R. Kruyt* und *W. D. Helderman*[7]) theoretisch

---

[1]) F. E. C. Scheffer, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **27**, 2, 187 ff. (1919).

[2]) Vgl. Bakhuis-Roozeboom, Heterog. Gleichgew. II, 1, 378 f.; II, 2, 104 f. (1918).

[3]) A. Johnsen, s. o.; vgl. auch O. Scharizer, Centr.-Bl. f. Min. 1920, 143.

[4]) H. S. Roberts u. F. H. Smyth, Journ. Amer. Chem. Soc. **42**, 2582—2607 (1920); **43**, 1061—1079 (1921); Ref. N. Jahrb. 1923, II, 310 f.

[5]) F. H. Smyth u. L. H. Adams, loc. cit. **45**, 1167—1184 (1923); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 19 f.

[6]) P. Niggli, N. Jahrb. 1914, II, 69.

[7]) H. R. Kruyt u. W. D. Helderman, Zeitschr. f. phys. Chem. **93**, 89—107 (1918).

erörtert. Das schönste und wichtigste Beispiel ist die Chloronatrokalitbildung aus vulkanischen Dämpfen, wie sie durch die Untersuchungen der Dampfdruckgleichgewichte über Schmelzen von NaCl—KCl nach den Untersuchungen von *L. Hackspill* und *R. Grandadam*[1]) erklärlich wird (vgl. Fig. 42).

Die kritischen Erscheinungen in ternären Systemen sind durch die weiter unten näher zu kennzeichnenden Untersuchungen von *G. W. Morey* und *C. N. Fenner* über das System H_2O—SiO_2—K_2SiO_3 verwirklicht.

2. Spezielles.

Das Fluor ist von *A. Gautier*[2]) in Mineralwässern magmatisch-aszendenter Art nachgewiesen. Der Borgehalt nimmt nach *H. Fonzes-Diacon* und *Fabre* mit der Temperatur solcher Thermen zu[3]). Sehr wertvoll sind die Beobachtungen von *A. Lacroix*[4]), der das NaFl (als Villaumit) in Nephelinsyenit-Hohlräumen neben Katapleiit und Eudialyt erkannte und damit den typisch pneumatolytischen Charakter dieser Bildungen feststellte. Auch neuerdings hat *A. Lacroix*[5]) den Villaumit in ähnlichen Vorkommnissen ausführlich beschrieben[6]). Interessant sind auch die Untersuchungen von *Th. Vogt*[7]) über die Mischkristalle des $CaFl_2$ mit YFl_3 und $CeFl_3$, welch erstere als Yttrofluorit in der Natur vorkommen. In chemischer Beziehung interessant ist auch das von *O. B. Böggild*[8]) Leifit genannte Natriumalumofluorosilikat von außergewöhnlich saurem Charakter (in Pegmatiten), desgl. über den Dahllit [ein Karbonatphosphat der Apatitgruppe[9])]. Als pneumatolytische Produkte sind auch Fluokarbonate chemisch überaus bemerkenswert, wie sie u. a. *A. Lacroix*[10]) als Bastnäsit und Parisit gefunden hat.

Auch saure Borate sind neuerdings von *J. Ponomareff*[11]) untersucht; insbesondere die spontane Kristallisation von B_2O_3, welche für gewöhnlich überhaupt nicht eintritt, kann durch besondere Methoden eventuell erzwungen werden[12]).

Sehr wichtige Untersuchungen stellte *P. Niggli*[13]) über die Gleichgewichte zwischen TiO_2 und CO_2, sowie SiO_2 und CO_2 in Alkali-, Kalkalkali- und Alkali-Aluminatschmelzen (bei 1 atm. Druck) an. TiO_2 und SiO_2 können danach bei $p = 1$ atm. als solche in Karbonat-haltigen Schmelzen nicht beständig sein. Die große Beständigkeit des durch die Reaktion

---

[1]) L. Hackspill u. R. Grandadam, Compt. rend. **179**, 464—467 (1924).
[2]) A. Gautier, Compt. rend. **158**, 1389, 1631 (1914).
[3]) H. Fonzes-Diacon u. Fabre, loc. cit. 1541.
[4]) A. Lacroix, Compt. rend. **166**, 539 (1918); Ref. N. Jahrb. 1923, II, 35.
[5]) A. Lacroix, loc. cit. **178**, 1109—1114 (1924).
[6]) Vgl. auch P. Niggli, Leichtfl. Bestandt. 183.
[7]) Th. Vogt, N. Jahrb. 1914, II, 9.
[8]) O. B. Böggild, Medd. om Grönld. **51**, 427—433 (1915).
[9]) O. B. Böggild, loc. cit. 434 ff.
[10]) A. Lacroix, Bull. soc. franç. de min. **38**, 108—135 (1915).
[11]) J. Ponomareff, Zeitschr. f. anorg. Chem. **89**, 383—392 (1914).
[12]) Vgl. G. Tammann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **87**, 248 (1914); Die Aggregatzustände 1922, 231.
[13]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 241—326 (1916).

$$CaCO_3 + TiO_2 \rightarrow CaTiO_3 + CO_2$$

gebildeten Perowskits (in kontaktmetamorphen Systemen) ist von besonders hohem petrologischen Interesse. Die Calcit-Wollastonit-Paragenese macht zwischen 300—900° C bei 1 atm. CO_2-Druck der stabileren von Calcit-Ca_2SiO_4 Platz; SiO_2 neben $CaCO_3$ kann nur bei niederen Temperaturen auftreten. In sämtlichen bekannten Alkalialumosilikaten ist das Verhältnis $Al_2O_3 : R_2O = 1:1$, während die Verhältnisse $SiO_2 : Al_2O_3$ verschiedenen Silifizierungsstufen entsprechen. Bei der magmatischen Differentiation sind diese Stufen besonders in ihrer Succession charakteristisch. Ein schönes Beispiel dafür gibt neben vielen anderen die Arbeit von *W. G. Foye*[1]). Auch auf Karbonat-Chloridschmelzen dehnte *P. Niggli* seine Untersuchungen aus, so auf das für die primäre Calcit-Ausscheidung so vorzüglich charakteristische System Na_2CO_3—$CaCO_3$—Na_2Cl_2[2]). Das ternäre System K_2CO_3—Na_2CO_3—$CaCO_3$ ist dadurch theoretisch besonders interessant, daß in ihm ein Sattelpunkt für die ternären Mischkristalle auftritt.

3. Die Sulfide, Arsenide usw.

Beachtenswerte Angaben über die spezifischen Wärmen mancher Sulfide, besonders bei höheren Temperaturen, siehe bei *K. Bornemann* und *O. Hengstenberg*[3]).

System As—Fe: *A. Beutell* und *F. Lorenz*[4]).

System Ni—As: *A. Beutell*[5]); über den Maucherit siehe *Ch. Palmer*[6]).

System Co—As: *A. Beutell* und *F. Lorenz*[7]); nebst metallographischem Vergleich natürlichen Speiskobalts und Chloanthits[8]). Für die genetische Bedeutung dieser Versuche bezüglich der pneumatolytischen Entstehung von Speiskobalt und Chloanthit siehe auch *A. Beutell*[9]). Als untere Temperaturgrenze bei der Bildung der Gänge mit diesen Erzen gibt *A. Beutell* 385° an, bei welcher die Bildung höherer Arsenide beginnt. Die Paragenese von Rotnickelkies mit den höheren Co-Arseniden erfordert 450°; diese Temperatur dürfte die obere Grenze bestimmen.

System Cu—S: Nach *A. Beutell*[10]) ist die Bildung von Mooskupfer aus Schwefelkupfer zu erklären.

System Cu—As: *L. H. Borgström*[11]) fand, daß die im Erstarrungsdiagramm nach *Friedrich* (1908) nicht gefundene Verbindung Cu_6As als

[1]) W. G. Foye, Amer. Journ. of Sci. [4] **40**, 413—436 (1915).
[2]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **106**, 126—142 (1919).
[3]) K. Bornemann u. O. Hengstenberg, Met. u. Erz **17**, 313—319, 339 bis 349 (1920).
[4]) A. Beutell u. F. Lorenz, Centr.-Bl. 1915, 359—373; 1916, 10—22.
[5]) A. Beutell, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 49.
[6]) Ch. Palmer, Zeitschr. f. Krist. **54**, 433—441 (1915); Econ. Geol. **9**, 664 bis 674 (1914).
[7]) A. Beutell u. F. Lorenz, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 10—22.
[8]) A. Beutell u. F. Lorenz, loc. cit. 180—185, 206—221.
[9]) A. Beutell, loc. cit. 433—441, 460—475.
[10]) A. Beutell, loc. cit. 1919, 14—28.
[11]) L. H. Borgström, Geol. Fören. Förhdl. **38**, 95—100 (1916).

Algodonit einheitlich kristallisiert, daß aber eine Verbindung Cu_9As (Whitneyit) ein Gemenge von Cu_6As und Cu ist; nach dem Umschmelzen ist auch Algodonit inhomogen, entsprechend dem Zustandsdiagramm.

System Zn—As: Nach *W. Heike*[1]) neue Untersuchung des Diagramms.

System Ag—S: Entstehung des Haarsilbers durch Zerfall von Ag_2S bei höheren Temperaturen[2]). Ueber die den „metamikten" Mineralien nahestehende, fast amorphe Natur des Silbersulfids siehe *V. M. Goldschmidt*[3]); siehe auch *F. Rinne*[4]), der die optische Anisotropie des Silberglanzes beobachtete[5]).

System Ag—As: Neue Untersuchung von *W. Heike* und *Leroux*[6]).

System Ag—Se: *G. Pellini*[7]).

System Ag—Te: Die Verbindung AgTe wurde von *W. M. Bradley*[8]) als Empressit beschrieben.

System Au—Te: Ueber Moosgold, aus Goldseleniden und -telluriden gebildet, siehe *A. Beutell*[9]).

System Pb—Te: *O. Saldau*[10]).

System Bi—S: *G. Schoppe*[11]); desgl. System Sb—S von demselben Autor.

System Bi—Te: *M. Amadori*[12]).

Eine wertvolle Vergleichung der Systeme Sb—S und Bi—S mit den älter bekannten Sb—Se, Bi—Se, Sb—Te und Bi—Te führte *G. Schoppe*[13]) zu wichtigen Schlüssen bezüglich der Zunahme des metallischen Charakters vom Schwefel über Selen zum Tellur.

Experimentell-synthetisch bedeutet die Methode von *A. Beutell*[14]) einen erheblichen Fortschritt, nach welcher man Dämpfe der flüchtigen Komponente (S, As usw.) im Vakuum bei Luftabschluß und bei ganz bestimmten Temperaturen auf das Metall einwirken läßt; es ließ sich so mit Sicherheit eine Reihe von Kristallarten erhalten, welche bis dahin noch nicht bekannt oder nicht synthetisch gewonnen worden waren (z. B. $CoAs_3$ usw.).

Die Entwicklung der genetischen Kenntnis der Sulfide, Arsenide usw. ist gekennzeichnet in dem letzten Jahrzehnt durch die Fortschritte auf dem Gebiete metall- und erzmikroskopischer Methoden („Chalkographie" nach *H. Schneiderhöhn*[15]). Eine ausführliche Monographie über diesen Gegen-

---

[1]) W. Heike, Zeitschr. f. anorg. Chem. **118**, 264—268 (1921).
[2]) cf. A. Beutell, Centr.-Bl. f. Min. 1919, 14—28.
[3]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. math.-natv. Kl. I, 1924, Nr. 5, 57.
[4]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 299—301 (1924).
[5]) cf. H. Schneiderhöhn, Anleitung usw. siehe unten cf. Cu_2S.
[6]) W. Heike u. Leroux, Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 119—126 (1915).
[7]) G. Pellini, Gazz. chim. ital. **45**, I, 533 f. (1915).
[8]) W. M. Bradley, Amer. Journ. of Sci. [4] **38**, 163 (1914); **39**, 223 (1915).
[9]) A. Beutell, Centr.-Bl. f. Min. 1919, 14—28.
[10]) O. Saldau, Ann. de l'Inst. d. Mines St. Petersb. **4**, 228 ff.; Ref. N. Jahrb. 1915, II, 21.
[11]) G. Schoppe, Diss. (Frankfurt a. M. 1924).
[12]) M. Amadori, Atti R. Accad. d. Linc. Rom [5] **24**, II, 200—205 (1915).
[13]) G. Schoppe, loc. cit.
[14]) A. Beutell, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 10 ff.
[15]) H. Schneiderhöhn, N. Jahrb. Beil.-Bd. **43**, 400—438 (1920).

stand gab *J. Murdoch*[1]); in deutscher Sprache sei hingewiesen auf *G. Berg*[2]) und vor allem die neue Zusammenfassung von *H. Schneiderhöhn*[3]). Die Untersuchung im Tageslichte empfiehlt *G. Berg*[4]). Ueber neue Untersuchungen in schief auffallendem Lichte siehe die Ausführungen von *W. M. Myers*[5]). Die Anwendung polarisierten Lichts bei Prüfung opaker Mineralien hat *F. E. Wright* ausführlich theoretisch diskutiert und wertvolle praktische Anleitungen gegeben[6]).

Eine sehr ausführliche Arbeit über die Sulfide des Kupfers mehr vom minerogenetischen als vom phasentheoretischen Standpunkte aus gaben *E. T. Allen, E. Posnjak* und *H. E. Merwin*[7]). Die Umwandlungstemperatur von Cu_2S wird durch die Korngröße der Präparate sehr beeinflußt; insbesondere ist aber in Mischkristallen von Cu_2S mit CuS eine höhere Umwandlungstemperatur zu beobachten. Die älteren Angaben, daß Cu_2S bei Einwirkung von $(NH_4)_2S$ auf Cu sich bilde, sind unrichtig, es entsteht vielmehr die tetragonale Kristallart $Cu_7(NH_4)S_4$. Die Aufnahme von S(CuS) in Cu_2S in fester Lösung erniedrigt dessen Schmelzpunkt.

Von hohem Interesse ist die von *E. Tiede* und *A. Schleede*[8]) durchgeführte annähernde Bestimmung des Schmelzpunkts von ZnS, HgS und CdS in einem Druckofen; ZnS erstarrt aus der Schmelze als Wurtzit.

Statistische Untersuchungen über die Zusammensetzung des Buntkupfererzes liegen vor von *E. H. Kraus* und *J. B. Goldsberry*[9]), sowie von *A. F. Rogers* und *E. T. Wherry*[10]), nach welchen Buntkupfererz eine Mischkristallreihe von Cu_3FeS_3—Cu_2S sein soll. *E. T. Allen*[11]) weist demgegenüber auf die stöchiometrische Einheitlichkeit des Buntkupfererzes als Cu_5FeS_4 hin. Die merkwürdigen Verwachsungen des Buntkupfererzes mit Covellin werden von *J. Regall*[12]) und *A. F. Rogers*[13]) genetisch gedeutet. Das gesamte System Cu—Fe—S ist noch nicht erforscht; *H. Schad* und *K. Bornemann*[14]) fanden in partiellen Untersuchungen über dieses noch keine deutlichen Beziehungen zum Naturvorkommen, nur für $(Cu_2S)_2 . FeS$ und $(Cu_2S)_2 . (FeS)_5$ fanden sich homogene Kristallarten. Die Bildung des

---

[1]) J. Murdoch, Mikroscop. Determin. of the opaque min. (New York 1916).
[2]) G. Berg, Die mikroskopische Untersuchung der Erzlagerstätten (Berlin 1915).
[3]) H. Schneiderhöhn, Anleitung z. mikroskop. Best. u. Unters. v. Erzen (Berlin 1922). Literatur außerordentlich reichlich in Econ. Geol. seit **9** (1914), einige Aufsätze in Zeitschr. f. prakt. Geol. und Metall u. Erz seit 1920 usw. usw.
[4]) G. Berg, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 339.
[5]) W. M. Myers, Amer. Min. **9**, 177—188 (1924).
[6]) F. E. Wright, Proc. Amer. Phil. Soc. **58**, 401—447 (1919); Min. Met. 1920, Nr. 158, 12; Ref. N. Jahrb. 1921, II, 273 ff.
[7]) E. T. Allen, E. Posnjak u. H. E. Merwin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **94**, 95—138 (1916).
[8]) E. Tiede u. A. Schleede, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **53**, 1721 ff. (1920); Centr.-Bl. f. Min. 1921, 154—158.
[9]) E. H. Kraus u. J. P. Goldsberry, Amer. Journ. of Sci. [4] **37**, 539 (1914).
[10]) A. F. Rogers u. E. T. Wherry, Science **42**, 386, 570 (1915).
[11]) E. T. Allen, Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 409 (1916).
[12]) J. Regall, Econ. Geol. **10**, 462—470 (1915).
[13]) A. F. Rogers, loc. cit. **11**, 582—593 (1916).
[14]) H. Schad u. K. Bornemann, Metallurgie **13**, 251—262 (1916).

Buntkupfererzes in Oefen für metallurgische Zwecke beschrieb in neuerer Zeit *F. N. Guild*[1]).

Im System Ag—Cu—S ist eine neuere Untersuchung von *G. Kalb* und *M. Bendig*[2]) wichtig, nach der die als Akanthit (rhombisch) bekannte Form des Ag_2S wahrscheinlich nur verzerrter Silberglanz ist; Jalpait ist die Verbindung $3\,Ag_2S\,.\,Cu_2S$ (doppelbrechend), Stromeyerit ist $Ag_2S\,.\,Cu_2S$.

Ueber das System PbS—Ag_2S siehe *A. Nissen* und *S. L. Hoyt*[3]); Ag_2Te—$AuTe_2$ hat *G. Pellini* bearbeitet[4]); Ag_2S, Cu_2S, $PbTe$—PbS siehe bei *P. Saldau*[5]); Ag_2S—Tl_2S siehe bei *H. Huber*[6]).

Im System Bi_2S_3—Sb_2S_3 fand *G. Schoppe*[7]) eine ununterbrochene Reihe von Mischkristallen (Typus I nach *Bakhuis-Roozeboom*), entgegen den Angaben von *H. Pélabon* (1903) aber keine Verbindungen.

Das ternäre System Cu—Pb—S, Cu—Bi—S und Cu—Sb—S hat *W. Guertler* und *L. Meißner*[8]) bearbeitet; die Stellung des Emplektits ist sichergestellt[9]) (siehe Fig. 43—45).

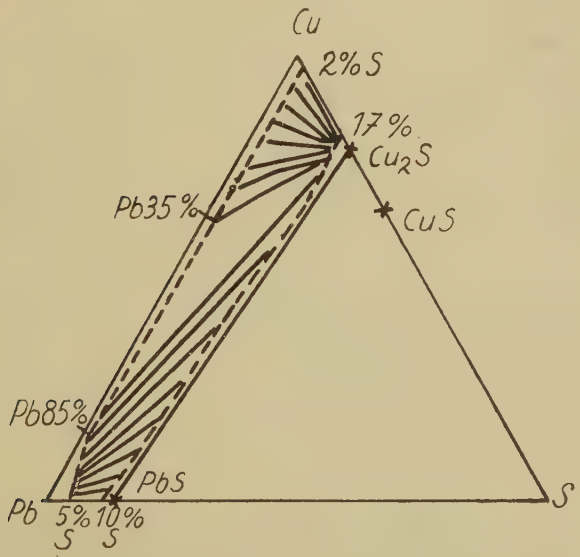


Fig. 43 System Cu—Pb—S (nach Guertler und Meißner).

---

[1]) F. N. Guild, Amer. Min. **9**, 201—205 (1924).
[2]) G. Kalb u. M. Bendig, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 516—519.
[3]) A. Nissen u. S. L. Hoyt, Econ. Geol. **10**, 172 f. (1915).
[4]) G. Pellini, Gazz. chim. ital. **45**, I, 469—484 (1915).
[5]) P. Saldau, Ann. de l'inst. d. mines St. Petersb. **4**, 228; Ref. N. Jahrb. 1915, II, 21.
[6]) H. Huber, Zeitschr. f. anorg. Chem. **116**, 139—140 (1921).
[7]) G. Schoppe, Diss. (Frankf. a. M. 1924).
[8]) W. Guertler u. L. Meißner, Met. u. Erz **18**, 145—152, 358 f., 410—415 (1921); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 156 ff.
[9]) Vgl. H. Rößler, Zeitschr. f. anorg. Chem. **9**, 31.

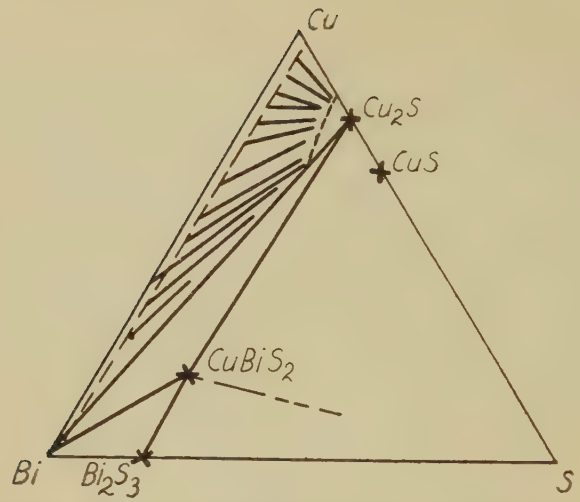


Fig. 44 System Cu—Bi—S (nach Guertler und Meißner).

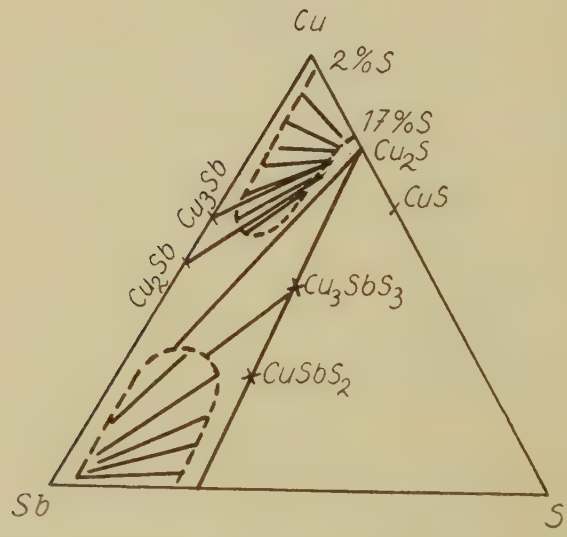


Fig. 45 System Cu—Sb—S (nach Guertler und Meißner).

Die bisherigen Resultate, inklusive der früheren, über die phasentheoretische Untersuchung der Sulfide usw., besonders der Sulfosalze[1]) hat das nicht befriedigende Bild ergeben, daß eine große Reihe natürlich vor-

[1]) Vgl. F. M. Jaeger u. H. S. van Klooster (1912).

kommender Kristallarten überhaupt nicht synthetisch wiedergefunden werden. Man wird überhaupt bei Anwendung der thermischen Analyse im allgemeinen nur die Existenz und Zusammensetzung der stabilsten kristallisierenden Molekülarten in einem Mehrstoffsystem festzustellen vermögen [1]). Besonders aussichtsreich scheint zur ersten Orientierung die deduktive Methode auf Grund des chalkographischen Befunds zu werden, wofür vor allem *H. Schneiderhöhn* mit seinen Schülern ausgezeichnete Ansätze gegeben hat. Es sei hier nur kurz auf die Methode der Bestimmung von Entmischungsstrukturen und Verdrängungserscheinungen hingewiesen, die in der oben erwähnten Schrift ausführlich erörtert werden [2]). Es lassen sich oft aus dem mikrographischen Untersuchungsbilde Schlüsse auf die Bildungstemperatur ziehen [3]).

Auch die elektrischen Eigenschaften (Thermoelektrizität, Polarisation usw.) der Lamprite ist neuerdings wiederholt untersucht und in ihren geophysikalischen Wirkungen erwogen worden [4]); vor allen Dingen auch *R. C. Wells* [5]) und *Schlumberger* [6]).

Die Hydrothermalsynthese.

Ueber die natürlichen heißen Quellen Nordamerikas siehe *R. B. Sosman* [7]), über die natürlichen Wärmequellen *A. L. Day* und *E. T. Allen* [8]), über die physikalischen Ursachen *L. H. Adams* [9]), die Temperaturen *C. E. van Orstrand* [10]), *G. W. Morey* [11]), *O. E. Meinzer* [12]), *E. G. Zies* [13]), *Th. L. Watson* [14]).

Sehr erhebliche Fortschritte hat die Forschung auf dem Gebiete der hydrothermalen Synthese zu verzeichnen; seit 1913 besitzen wir eine ausgezeichnete Literaturübersicht in der Arbeit von *P. Niggli* und *G. W. Morey* [15]), und diese Autoren haben eine Reihe von Untersuchungen durchgeführt, welche vergeblich eine quantitative Ausgestaltung der hydrothermalen Methode zum Ziele hatten. So ist die Arbeit von *M. Schlaepfer*

---

[1]) G. Tammann, Lehrb. d. Metallogr. 1914, 217; 1921, 214.
[2]) Vgl. z. B. auch Met. u. Erz **19**, Heft 22 u. 23, 501—526 (1922).
[3]) Vgl. H. Schneiderhöhn, Zeitschr. f. Krist. **58**, 309—329 (1923) sowie z. B. Marg. Brinkmann, Zeitschr. f. prakt. Geol. **32**, 33—61 (1924); ferner A. Cissarz, Mitt. d. Kaiser-Wilh.-Inst. f. Eisenforsch. **5**, 109—126 (1924).
[4]) K. Hummel, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 66 ff.
[5]) R. C. Wells, U. S. Geol. Surv. Bull. **548** (1914).
[6]) Schlumberger, Étude sur la prospection électrique du sous-sol (Paris 1920) usw.
[7]) R. B. Sosmann, Journ. of Geol. **32**, 464—471 (1924).
[8]) A. L. Day u. E. T. Allen, loc. cit. 178—190.
[9]) L. H. Adams, loc. cit. 191—194.
[10]) C. E. van Orstrand, loc. cit. 194—225.
[11]) G. W. Morey, loc. cit. 291—295.
[12]) O. E. Meinzer, loc. cit. 296—303.
[13]) E. G. Zies, loc. cit. 303—310.
[14]) Th. L. Watson, loc. cit. 373—384.
[15]) P. Niggli u. G. W. Morey, Zeitschr. f. anorg. Chem. **83**, 369—416.

und *P. Niggli*[1]) gleich einer älteren von letzterem[2]) im wesentlichen präparativen Charakters; auch hat die von *J. Königsberger* und *W. J. Müller*[3]) gegebene Zusammenfassung einer großen Zahl von hydrothermalen Versuchen im wesentlichen nur Qualitatives gegeben. Speziell über Natriumsilikate siehe die Arbeiten von *K. A. Vesterberg*[4]) und *A. H. Erdenbrecher*[5]). Auch *W. Pukall*[6]) fand eine große Reihe von Substanzen, gelegentlich auch kristallisierte Produkte, doch sind die von ihm angegebenen Zusammensetzungen wohl durchaus hypothetischer Natur. Ueber die Einwirkung von Alkalisalzlösungen auf Feldspat, Hornblende usw. siehe auch *E. A. Stephenson*[7]).

Einen wirklichen Anfang systematisch-quantitativer hydrothermaler Forschung bedeutet vielmehr die von *G. W. Morey* und *C. N. Fenner*[8]) durchgeführte Untersuchung des Systems $SiO_2-K_2SiO_3-H_2O$ für Temperaturen zwischen 200 und 1000°; die von ihnen angewandte hydrothermale Abschreckungsmethode beruht auf der Wärmeexposition der Beschickung in einer besonderen Bombe, worauf rasch abgeschreckt wird, wobei die bei hoher Temperatur gebildete Schmelzlösung ohne Aenderung ihrer Zusammensetzung glasig erstarrt. Völlige Dichtheit der Bombe ist naturgemäß Voraussetzung. Als Kristallarten wurden K_2SiO_3 und $K_2Si_2O_5$ neben einigen Hydraten beider Körper gefunden. —

Bei niedrigeren Temperaturen liegen die Untersuchungen von *E. Posnjak* und *H. E. Merwin*[9]) im System $Fe_2O_3-SO_3-H_2O$, mit zahlreichen Kristallarten.

Die Silikate sind in H_2O in der Nähe seiner kritischen Temperatur nur sehr wenig löslich; deshalb spielen sich die Neubildungen bei den Synthesen hauptsächlich innerhalb der Bodenkörpermasse ab, und ein Gleichgewicht stellt sich in komplizierteren Systemen nur mangelhaft ein. *J. Königsberger* und *W. J. Müller* (s. o.) haben deshalb die Lösung vom Bodenkörper mittels einer besonderen Siebvorrichtung bei der Versuchstemperatur zu trennen versucht, so daß man die bei der Abkühlung aus der Lösung kristallisierenden Körper gesondert untersuchen konnte. Freilich waren die so gewonnenen Mengen der Kristallarten sehr gering.

Am häufigsten ist die Synthese von Quarz, Albit, Orthoklas und Analcim gelungen, ferner von Hämatit, Korund, Spinell; die von *P. Niggli* und *G. W. Morey* gegebene Liste umfaßt ca. 75 verschiedene in der Literatur als hydrothermal gewonnen bezeichnete Silikate. Besonders den

---

[1]) M. Schlaepfer u. P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **87**, 52 (1914).
[2]) P. Niggli, loc. cit. **84**, 31.
[3]) J. Königsberger u. W. J. Müller, loc. cit. **104**, 1—26 (1918).
[4]) K. A. Vesterberg, loc. cit. **88**, 341 (1914).
[5]) A. H. Erdenbrecher, loc. cit. **124**, 339—354 (1916).
[6]) W. Pukall, Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **49**, 397—436 (1916).
[7]) E. A. Stephenson, Journ. of. Geol. **24**, 180—199 (1916).
[8]) G. W. Morey u. C. N. Fenner, Zeitschr. f. anorg. Chem. **86**, 305—324 (1914) über die Apparatur; Journ. Amer. Chem. Soc. **39**, 1173—1229 (1917); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 9—12.
[9]) E. Posnjak u. H. E. Merwin, Journ. Amer. Chem. Soc. **44**, 1965—1994 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 17—20.

Orthoklas haben *G. W. Morey* und *N. L. Bowen* [1]) in solcher Vollkommenheit und Reinheit hydrothermal gewonnen, daß sie mit solchem Material ausgezeichnete Untersuchungen über die Schmelzgleichgewichte des Orthoklases (s. o. S. 55) ausführen konnten. Von erheblichem petrologischen Interesse ist auch die von *J. Königsberger* und *W. J. Müller* [2]) im Anschluß an die Schilderung ihrer Versuchsergebnisse dargelegte Erörterung der Schlüsse, die sich aus ihren Beobachtungen für die Bildung leukokrater Granitpegmatite, sowie der Mineraldrusen in Graniten und Pegmatiten (welche ärmer an Biotit sind) machen lassen. Mit ihren synthetischen Versuchen steht besonders in Einklang, daß häufig in diesen Drusen der Eruptivgesteine labile Bildungsprozesse sich einstellen, die der Phasenregel nicht zu folgen scheinen.

Die Hydrothermalsynthese der Sulfide ist ebenfalls sehr gefördert und quantitativ ausgestaltet worden; so besitzen wir neben den älteren Untersuchungen von *E. T. Allen* c. s. über die Sulfide des Eisens, Cadmiums und Quecksilbers vor allen Dingen eingehende Untersuchungen über die Bildungsbereiche für die einzelnen Kristallarten und den Einfluß des Säuregrades usw. der Lösungen, aus denen sie entstanden. Mit dem Bildungsbereich eines Sulfids braucht dessen Stabilitätsfeld durchaus nicht zusammenzufallen (vielmehr wäre das eher eine Ausnahmeerscheinung), aber das erstere ist nicht minder für das Naturvorkommen von erheblicher Bedeutung, worauf *P. Niggli* [3]) ausdrücklich hingewiesen hat.

Ueber die dem Metacinnabarit entsprechenden schwarzen HgS-Niederschläge aus Lösungen von Hg··-Salzen siehe *J. Böhm* und *H. Niclassen* [4]) sowie *W. M. Lehmann* [5]).

Speziell über die Eisensulfide wissen wir, daß niedere Temperaturen die Bildung von Markasit begünstigen; damit stimmt das Naturvorkommen, insofern Pyrit mehr ein Produkt tiefer Gänge und heißer Quellen ist, während Markasit oft als Oberflächenbildung aus kälteren, meist vadosen und sauren Wässern ist. Weniger saure Lösungen bei höherer Temperatur ergeben Gemische von Markasit und Pyrit. Für die Fälle gleichzeitiger Kristallisation von Kalkspat neben Markasit, bei der nur sehr geringe Säurekonzentrationen in Frage kommen können, reichen die synthetischen Erfahrungen noch nicht aus [6]). Ueber die bei Bestimmung von Pyrit und Markasit verwendete Methode von *Stokes* [7]).

---

[1]) G. W. Morey u. N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [5] **4**, 1 (1922); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 336.

[2]) J. Königsberger u. W. J. Müller, N. Jahrb. Beil.-Bd. **44**, 402—459 (1920).

[3]) P. Niggli. Fortschr. d. Min. **5**, 136 ff. (1916).

[4]) J. Böhm u. H. Niclassen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **132**, 1—9 (1914).

[5]) W. M. Lehmann, Zeitschr. f. Krist. **60**, 379—413 (1924).

[6]) Vgl. E. T. Allen u. J. L. Crenshaw, Amer. Journ. of Sci. [4] **38**, 371 bis 431 (1914); H. E. Merwin, loc. cit. 355—359; Zeitschr. f. anorg. Chem. **90**, 107—148 (1914).

[7]) Stokes, siehe Zeitschr. f. anorg. Chem. **90**, 81—106 (1914).

Eine genaue Untersuchung über die Dissoziationsdrucke von Pyrit (und Covellin) bis 500° geben *E. T. Allen* und *R. H. Lombard* [1]). Die von ihnen verwandte Methode beruht auf der Kompensation des Dissoziationsdrucks durch den bei der Versuchstemperatur bekannten Dampfdruck von Schwefel in einem Doppelofen. Die Dissoziationsgleichgewichte ließen sich so von beiden Seiten her bestimmen, doch kann die Methode nur bis ca. 1100° und Drucken bis 1 atm. genaue Resultate liefern. Die Dissoziation des Pyrits zu Schwefeldampf und Magnetkies (FeS + S in fester Lösung) entspricht den Naturvorkommnissen des letzteren in manchen kontakt-metamorphen Tonschiefereinschlüssen in Basalt [2]).

Wie bei den Eisensulfiden ist auch bei denen des Zinks und Quecksilbers (als Zinkblende oder Wurtzit) die hydrothermale Kristallisation abhängig von dem Säuregrad und der Temperatur der Lösungen; Blende und Zinnober sind Bildungen aus juvenilen alkalischen Tiefenwässern, Wurtzit und Metacinnabarit pflegen sekundär aus sauren vadosen Oberflächenwässern zu entstehen [3]).

Im Anschluß an die hydrothermalen Synthesen seien hier auch die Versuche einer experimentellen Klärung des schwierigen Problems der Zementationsvorgänge in den Erzlagerstätten erwähnt [siehe das zusammenfassende Werk von *W. H. Emmons* [4])]. Insbesondere hat die praktisch so wichtige sekundäre Anreicherung des Kupfers durch Zementationsreaktionen eine Bearbeitung durch systematische hydrothermale Versuche mit analytischer Kontrolle erfahren durch *E. G. Zies, E. T. Allen* und *H. E. Merwin* [5]), *T. M. Broderick* [6]), *S. W. Young* und *N. P. Moore* [7]) und *A. F. Rogers* [8]). Vgl. auch die Beobachtungen von *H. Schneiderhöhn* [9]). Die Bildung gediegenen Kupfers durch Zementationsvorgänge, nicht wohl durch elektrolytische Vorgänge haben *K. Oebekke* und *M. von Schwarz* [10]) auf metallographischem Wege untersucht und beschrieben. Vor allem ist auch das Studium der Wechselwirkung von Cuprosalzlösungen (CuCl in NaCl) mit Ferrosalzen unter Ausscheidung von metallischem Kupfer eingehend untersucht von *R. C. Wells* [11]).

---

[1]) E. T. Allen u. R. H. Lombard, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 175—195 (1917); Ref. N. Jahrb. 1922, II, 239 ff.

[2]) Siehe z. B. R. Brauns, SB. d. Niederrh. Ges. f. Naturkunde 1914, 13 f., W. Eitel, Abhdl. d. Senckenberg. Naturf. Ges. Frankfurt a. M. **37**, 139 ff. (1920).

[3]) E. T. Allen u. J. L. Crenshaw, Zeitschr. f. anorg. Chem. **90**, 122, 143 (1914).

[4]) W. H. Emmons, U. S. Geol. Surv. Bull. **625**, 530 S. (1917).

[5]) E. G. Zies, E. T. Allen u. H. E. Merwin, Econ. Geol. **11**, 407—503 (1916).

[6]) T. M. Broderick, loc. cit. 646—651.

[7]) S. W. Young u. N. P. Moore, loc. cit. 349—365, 574—581.

[8]) A. F. Rogers, loc. cit. 582—593.

[9]) H. Schneiderhöhn, Senkenbergiana 1920, 1—5; Met. u. Erz **17**, H. 13, 16, 19, 24 (1920); **18**, H. 10, 11 usw. (1921); Zeitschr. f. Krist. **59**, 429 (1923); Ref. N. Jahrb. 1918, 277—289; 1920, 272—275, sowie die zusammenfassende Darstellung Fortschr. d. Min. **9**, 67—160 (1924).

[10]) K. Oebekke u. M. von Schwarz, Zeitschr. f. Metallk. **12**, 505 ff. (1920)

[11]) R. C. Wells, Amer. Journ. of Sci. [5] **8**, 428—433 (1924).

Daß speziell auch elektrolytische Einflüsse besonders bei der Oxydation von Sulfiden im Hute der hydrothermalen Erzlagerstätten ganz besonders häufig in Frage kommen, ist eine von *V. H. Gottschalk* und *H. A. Bühler*[1]) erwiesene Anschauung. Auch hat *K. Hummel*[2]) neuerdings diesen Fragenkomplex ausführlich besprochen. Von besonderer Bedeutung sind auch die von *G. Tammann*[3]) angestellten Versuche über den Kationenaustausch an der Oberfläche sulfidischer Mineralien, welcher elektrometrisch verfolgt werden kann und für das Miteintreten edlerer Metalle in Lagerstätten von Sulfiden unedlerer, so vor allem in Bleiglanz und Zinkblende, von Wichtigkeit ist. Auch in solchen Fällen, daß das Sulfid des edleren Metalls nicht isomorph mit demjenigen des unedleren ist, bemerkt man ein „Mitreißen" des ersteren. So ließe sich wohl auch der so häufige Silbergehalt der Bleiglanzlagerstätten z. T. erklären. Der von *G. Tammann* beschrittene Weg verspricht bei weiterem Ausbau noch reiche Aufklärung über die Paragenesen und Successionen in den Erzlagerstätten. Ueber die ausfällende Wirkung von Sulfiden auf Silbersalze hat *C. Palmer*[4]) ausführliche Angaben gemacht. — Merkwürdig ist bei den *Tammann*'schen Elektrometer-Versuchen die Feststellung, daß das Eisen sich in den Erzen Magnetit, Pyrit, Magnetkies passiviert verhält, d. h. in edlerer Form, als es gewöhnlich seiner Stellung in der Spannungsreihe entspricht.

Von experimentellen Studien über die Ag-Au-Lagerstätten sei die wichtige Beobachtung von *V. Lenher*[5]) hervorgehoben, nach der die Goldsalze bei Gegenwart von Wasserdampf und höheren Drucken beständiger sind als bei gewöhnlichen Zustandsverhältnissen. Besonders die Karbonate von Ca, Mg usw. wirken auf die Au-Salze fällend, und bei höheren Temperaturen scheidet sich das Metall gediegen aus, besonders in chloridischen Lösungen. Da diese auch Ag Cl zu lösen imstande sind, so ist auch die gleichartige Fällung und Reduktion des Ag_2CO_3 zum Metall gegeben, womit sich der Ag-Gehalt vieler Golderze durch gleichzeitige Ausfällung erklärt.

Mit dieser sehr spezifischen Wirkung von Karbonaten auf Schwermetallsalzlösungen sind wir auf das Gebiet metasomatischer Prozesse gekommen, welches in mannigfacher Weise der Erforschung zugänglich ist [vgl. z. B. den metasomatischen Uebergang von Peridotit in Magnesit usw. bei *W. Hammer*[6])], aber bis jetzt experimentell wenig bearbeitet wurde. Wir besitzen in einer Mitteilung von *V. M. Goldschmidt*[7]) eine ausgezeichnete Charakteristik und Uebersicht der metasomatischen Vorgänge, welche allerdings die Grenzen weit ins Gebiet der Petrologie zieht und eine große Zahl metamorpher Prozesse miteinbezieht (Alkali-

---

[1]) V. H. Gottschalk u. H. A. Bühler, Econ. Geol. **7**, 15—34 (1915).
[2]) K. Hummel, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 66ff.
[3]) G. Tammann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **113**, 149—162 (1920).
[4]) C. Palmer, Zeitschr. f. Krist. **54**, 433 (1915); Journ. Wash. Acad. Sci. **5**, 351—354 (1915).
[5]) V. Lenher, Econ. Geol. **13**, 161—184 (1918); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 36.
[6]) W. Hammer, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 385ff.
[7]) V. M. Goldschmidt, Die Naturwiss. **10**, 145—152 (1922).

austausch, Bindung von Alkalizufuhr, ferner von Mg, Ca, Fe, Ni usw.), ja selbst pneumatolytischer Prozesse (Skapolithisierung, H_2O-CO_2-Metasomatose = Diaphtorese, Verwitterung usw.). In diesem Sinne ist die Metasomatose in der Tat ein wesentlicher Faktor des Stoffwechsels der Erde. Viele derartige Prozesse sind als Fortsetzung der Verfestigungsvorgänge im Magma zu verstehen, so die von *J. J. Sederholm*[1]) als deuterisch bezeichneten Mineralumsetzungen, welche in die metasomatisch-metamorphen Gesteinsumbildungen kontinuierlich überführen und z. B. bei der Myrmekitbildung oft nicht von sekundären Prozessen getrennt werden können. *R. J. Colony*[2]) hat diesen Begriff noch erweitert auf die Erscheinung des Eindringens von Albit und Quarz in Feldspäte, auf Serpentinisierung (s. u.) und Aktinolithisierung von Olivin bzw. Pyroxen, Natronzufuhr und Mikropegmatitbildung aus basischen Gesteinen infolge starker Zufuhr pegmatitischer Lösungsreste.

Das Gesamtproblem der an magmatische Erscheinungen sich anschließenden hydrothermalen Bildungsprozesse ist in den großen Handbüchern von *Beyschlag-Krusch-Vogt, R. Beck, Stelzner-Bergeat, W. Lindgren* u. a. in den Mittelpunkt der Betrachtung gestellt. Siehe z. B. auch die Erörterungen von *W. H. Goodchild*[3]), ferner die genetische Systematik der Erzlagerstätten nach *H. Schneiderhöhn*[4]); vgl. auch *R. B. Sosman*[5]). Durchaus eigenartig ist die Auffassung, welche *J. E. Spurr* in seinem Buche "The Ore Magmas"[6]) gegeben hat, indem er im bemerkenswerten Gegensatz zu den meisten bisherigen Auffassungen eine hohe Konzentration der hydrothermalen Lösungen voraussetzte. Das ungeheuer große Gebiet dieser Bildungsweisen ist bis jetzt nur sehr spärlich geklärt. Speziell die mit Erzbildung häufig verknüpfte Bildung von Serpentin und Sericit behandelten *W. N. Benson*[7]) und *A. F. Rogers*[8]). Auch ist die Studie von *A. F. Buddington*[9]) über Pyrophyllit- und Sericitbildung von erheblichem allgemeinen Interesse. Einen interessanten Fall hydrothermaler Kaolinitbildung in einem miarolithischen Quarzporphyr gab *A. F. Buddington*[10]).

Ueber Paragenesen und Successionen besitzen wir in *J. Königsberger's* Darlegungen über die alpinen Kluftmineralien bereits eine ausgezeichnete Monographie[11]). Einen bemerkenswerten Anfang, in das außerordentlich große vorhandene Material eine Ordnung nach physikalisch-chemischen Gesichtspunkten zu bringen, erblicken wir in *P. Niggli's*

[1]) J. J. Sederholm, Bull. geol. comité Finl. **48**, 1—143 (1916).
[2]) R. J. Colony, Journ. of Geol. **31**, 169—178 (1923).
[3]) W. H. Goodchild, Min. Mag. **19**, Nr. 3 u. 4 (1918).
[4]) H. Schneiderhöhn, Senkenbergiana **1**, 194—212 (1919); Ref. N. Jahrb. 1921, I, 143ff.
[5]) R. B. Sosman, Econ. Geol. **19**, 585—589 (1924).
[6]) J. E. Spurr (New York 1923); Besprechg. N. Jahrb. 1924, I, 350ff.
[7]) W. N. Benson, Amer. Journ. of Sci. [4] **46**, 693—731 (1918).
[8]) A. F. Rogers, Econ. Geol. **11**, 118—150 (1916).
[9]) A. F. Buddington, Journ. of Geol. **24**, 130—152 (1916).
[10]) A. F. Buddington, loc. cit. **31**, 149—151 (1923).
[11]) J. Königsberger (1912, 1913); Abhdl. d. Bayr. Akad. d. Wiss., math.-phys. Kl. **28**, Nr. 10—11 (1917).

Monographie über die leichtflüchtigen Bestandteile des Magmas, sowie in den Ausführungen seines Lehrbuchs (1920), wie denn auch sein großangelegtes Werk über die Gesteins- und Mineralprovinzen in dieser Richtung disponiert ist. Versuche einer genetischen, auf physikalisch-chemischen Grundlagen beruhenden Nomenklatur und Systematik der Erzlagerstätten liegen mehrfach vor; es sei hier nur hingewiesen auf *W. Lindgren*[1]).

Eine Grundlage des physikalisch-chemischen Studiums der hydrothermalen Bildungen der Natur muß auch die Bestimmung der Löslichkeit ihrer Produkte, der Mineralien sein. Hier hat die Forschung noch ein weites Feld der Betätigung, auf dem *van't Hoff, Nernst, Noyes, Ostwald* u. a. den Weg gezeigt haben. Hier hat vor allen Dingen *O. Weigel*[2]) neuerdings wertvolle Messungsreihen veröffentlicht, die zeigen, daß die Schwermetallsulfide in wässeriger Lösung eine stufenweise Dissoziation erfahren, daß daher der größte Teil des Gelösten in Form komplexer Ionen auftritt und nur ein sehr kleiner als einfache Ionen. Methodisch ist auch interessant die mannigfaltige Anwendung direkter Löslichkeitsbestimmungen, insbesondere auch ultramikroskopischer und galvanischer Methoden. Bei letzteren wurde das Potential von PbS-Elektroden in $Pb(NO_3)_2$- und Na_2S-Lösung gemessen gegen die $^1/_{10}$-Normal-Calomel-Elektrode. Die Annahme des komplexen Zerfalls der Sulfide steht in Analogie mit Anschauungen von *A. Beutell* und *Matzke*[3]), *A. Thiel* und *H. Geßner*[4]) und *P. Niggli*[5]). *Weigel* macht ferner auf die erheblichen Unterschiede aufmerksam, welche die Löslichkeitsbestimmungen in reinem Wasser und anderseits die Bestimmungen der Ionen-(Löslichkeits-)produkte ergaben; erstere liefern die gesamte gelöste Menge, letztere beziehen sich nur auf einfachen Zerfall, z. B. $[Pb^{\cdot\cdot}] . [S^{\prime\prime}]$.

Trotz der mit konstanter Reaktionsgeschwindigkeit verlaufenden Zersetzung der Sulfide (PbS und ZnS) mit verdünnten Säuren scheint nach *F. Rosenkränzer*[6]) eine hydrolytische Spaltung vorherzugehen.

Speziell die Löslichkeiten der Erdalkalikarbonate haben neuerdings eine mehrfache Bearbeitung erfahren. Für $BaCO_3$ siehe *G. Weißenberger*[7]). Das Magnesiumkarbonat, welches in Lösung sicher stark hydrolysiert ist, gibt wesentlich verschiedene Zahlen, je nachdem man von Magnesit oder Trihydrat ausgeht[8]). Ueber das Verhältnis der Löslichkeitsprodukte von Calcit und Aragonit siehe die ausführliche Uebersicht der Messungen bei *J. Johnston, H. E. Merwin* und *E. D. Williamson*[9]) (siehe auch weiter unten); vgl. auch *C. A. Seyler* und *P. V. Lloyd*[10]).

---

[1]) W. Lindgren, Econ. Geol. **17**, 292ff. (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 319.
[2]) O. Weigel, SB. d. Marb. Ges. z. Bef. d. Wiss. 1921, 35—50.
[3]) A. Beutell u. Matzke, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 263.
[4]) A. Thiel u. H. Geßner, Zeitschr. f. anorg. Chem. **86**, 1—57 (1914).
[5]) P. Niggli, Lehrb. d. Min. 1920, 328.
[6]) F. Rosenkränzer, Zeitschr. f. anorg. Chem. **87**, 319—334 (1914).
[7]) G. Weißenberger, Zeitschr. f. phys. Chem. **88**, 257 (1914).
[8]) R. C. Wells, Journ. Amer. Chem. Soc. **37**, 1704—1707 (1915).
[9]) J. Johnston, H. E. Merwin u. E. D. Williamson, Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 473—512 (1916); Ref. N. Jahrb. 1922, I, 145—152.
[10]) C. A. Seyler u. P. V. Lloyd, Journ. Chem. Soc. London **111**, 994—1001 (1917).

Ueber die Aenderung der Löslichkeit mit Temperatur und Druck ist vor allen Dingen bemerkenswert die Diskussion des sog. *Braun*'schen Gesetzes

$$\left(\frac{\delta \ln c}{\delta p}\right)_t : \left(\frac{\delta \ln c}{\delta T}\right)_p = -\frac{T \cdot \Delta v}{Q},$$

wie sie *E. Cohen* mit seinem Schüler *A. L. Th. Moesveld*[1]) nach ausgezeichneten Präzisionsmessungen gegeben hat. Das Prinzip der Gleichgewichtsverschiebung bleibt erhalten, insofern die Auflösung unter Kontraktion mit einer Vergrößerung der Löslichkeit durch Druck verknüpft ist. Siehe auch Versuche von *H. F. Sill*[2]).

Der seit den interessanten Versuchen von *G. A. Hulett* (1902, 1904) festgestellte Einfluß der Korngröße auf die Löslichkeit wurde von *G. Tammann*[3]) als ein Einfluß der Zerteilungsarbeit und der beim Pulvern erfolgenden Kaltbearbeitung der Versuchssubstanz auf die Löslichkeit erkannt. Man müßte also die Löslichkeit unverletzter Kristalle verschiedener Größe vergleichen, oder den normalen Zustand der bearbeiteten Substanz durch Erhitzen wiederherstellen[4]). Den Einfluß der Temperaturschwankungen auf die Erscheinung des Zusammenbackens feuchter Kristallmassen erklärt *G. Tammann*[5]). Daß die Reaktionsfähigkeit und damit auch die Reaktionsgeschwindigkeit abnormal von der Korngröße abhängt, hat *E. Podszus*[6]) an schwerlöslichen Oxyden nachgewiesen.

Die Zeolithe.

Als primäre magmatische Bildung ist der Analcim sichergestellt; nicht nur, daß er als ein häufiges Produkt hydrothermaler Synthesen beobachtet wurde, sondern auch *E. A. Stephenson*[7]) konnte ihn durch Einwirkung basischer Karbonatlösungen auf Feldspat erhalten. Vor allen Dingen wurden von erheblicher genetischer Bedeutung die Untersuchungen von *H. S. Washington*[8]), sowie von *J. D. Mackenzie*[9]) über die Analcimbasalte Sardiniens und Amerikas, und *A. Lacroix*[10]) hat Entsprechendes an denen des Gebietes von Trapezunt sowie von Nordafrika[11]) beschrieben. Es ist

---

[1]) E. Cohen u. A. L. Th. Moesveld, Diss. (Amsterdam 1918); Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **26**, 134 (1918); Chem. Weekbl. 1918, 366, 1001, 1241, 1553.

[2]) H. F. Sill, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 2632–2643 (1916).

[3]) G. Tammann, Die Aggregatzustände 1922, 209f.

[4]) cf. G. Tammann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **110**, 166–168 (1920); F. Meißner, loc. cit. 169—186.

[5]) G. Tammann, Lehrb. d. Metallogr. 1914, 85; 1921, 95.

[6]) E. Podszus, Zeitschr. f. phys. Chem. **92**, 227—237 (1917).

[7]) E. A. Stephenson, Journ. of Geol. **24**, 180—199 (1916).

[8]) H. S. Washington, Amer. Journ. of Sci. [4] **39**, 513 (1915); Journ. of Geol. **22**, 742—753 (1914); Ref. N. Jahrb. 1920, 322f.; 1921, II, 197—201.

[9]) J. D. Mackenzie, loc. cit. 571; Ref. N. Jahrb. 1916, II, 163.

[10]) A. Lacroix, Compt. rend. **168**, 637—642 (1919); Ref. N. Jahrb. 1923, II, 340—342.

[11]) A. Lacroix, loc. cit. **178**, 529—535 (1924).

hier sehr deutlich erkennbar, daß es viele Gesteine gibt, in welchen man den Leucit mit Analcim verwechselt hatte, und zwar sowohl primärer Natur, in denen der Analcim als solcher auskristallisierte, wie auch sekundäre Analcimbasalte, in denen das Kali des Leucits durch hydrothermalen Basenaustausch nachträglich gegen Natron ($+H_2O$) ausgetauscht worden war. Zweifellos ist auch die von *N. L. Bowen* beobachtete primäre magmatische Ausscheidung von Analcim in den Restschmelzen alnöitischer Melilith-Monticellit-Magmen analog dem Verhalten von Diopsid-Nephelinschmelzen (cf. S. 68). Man kann den Analcim nach *N. L. Bowen* direkt als Kristallart solcher Restlaugen beobachten [1]).

Man kann den Analcim als einen Hydro-Natronleucit auffassen; er steht also den Feldspatvertretern ebenso nahe, wie z. B. der Heulandit auch zu den Feldspäten in einer kristallographisch-chemisch sehr nahen Beziehung ist [2]). Die paragenetische Verknüpfung des Analcims (und Natroliths) mit Nephelin und Orthoklas ist besonders typisch, während die übrigen Zeolithe meist der wasserreichen Schlußperiode der magmatischen Erstarrung angehören [3]). Merkwürdig ist auch die Beobachtung von *G. M. Schwartz* über ein Vorkommen von Xonotlit aus Minnesota [4]), in welchem Knollen dieses Minerals mit Diopsidrand auf eine magmatische Entstehung hinweisen dürften.

Eine prächtige genetische Studie über die Zeolithe von Neu-Schottland, welche in vielen Beziehungen wertvolle Einblicke in ihre Entstehung gibt, ist die von *T. L. Walker* und *A. L. Parsons* [5]).

Besonders eingehend wurde auch seit 1914 der Wassergehalt der Zeolithe studiert und die Regelmäßigkeiten seiner Schwankungen mit dem Dampfdruck der Umgebung festgestellt. Die völlige optisch-kristallographische Homogenität bleibt dabei bekanntlich gewahrt, doch ändern sich die Konstanten in jedem Wässerungsstadium in kontinuierlicher Weise [6]). Einige Angaben betreffs der Symmetrie der Zeolithe in ihren verschiedenen Entwässerungsstadien *(F. Rinne)* hat *O. Weigel* [7]) anders wiedergefunden. Neuere Erhitzungsversuche unter Kontrolle der Wassergehalte von Zeolithen und Hydraten siehe auch bei *H. E. Merwin* [8]).

Speziell die Untersuchungen von *A. Beutell* und *K. Blaschke* [9]) regten eine außerordentlich lebhafte Diskussion der Frage an, ob sich bei der Hydratation eines entwässerten Zeolithen, wie sie am Desmin beobachtet

---

[1]) N. L. Bowen, Journ. Wash. Acad. Sci. **13**, 1—4 (1923).

[2]) F. Rinne, Ber. Sächs. Ges. d. Wiss., math.-phys. Kl. **72**, 19 ff. (1920); röntgenographische Studien dazu siehe Zeitschr. f. Krist. **59**, 237 f. (1924).

[3]) Vgl. Beobachtungen von J. E. Hibsch, Tscherm. Min. Mitt. **33**, 340 (1914); **34**, 262 (1917), über dichten Natrolith und Analcim in Phonolith.

[4]) G. M. Schwartz, Amer. Min. **9**, 32 ff. (1924).

[5]) T. L. Walker u. A. L. Parsons, Contrib. to Canad. Min. 1922; Univ. of Toronto Stud. Geol. Series **14**, 13—73 (1922); Ref. N. Jahrb. 1924, I, 309—314.

[6]) Mallard (1882), F. Rinne (Zusammenfassung 1913), Fortschr. d. Min. **3**.

[7]) O. Weigel, SB. d. Marb. Ges. z. Beförderung ges. Naturwiss. 1919, 5. Okt.

[8]) H. E. Merwin, Journ. Wash. Acad. Sci. **4**, 494 (1914); Zeitschr. f. Krist. **55**, 113 (1915).

[9]) A. Beutell u. K. Blaschke, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 4, 142, 195.

zu haben glaubten, die Sättigung in zahlreichen (14) stöchiometrisch wohldefinierten Hydratstufen vollziehe, oder kontinuierlich. Diese (14) Hydrate sollten nur in gewissen eng begrenzten Temperaturgebieten beständig sein; vor allem ist auch die Behauptung der Genannten wesentlich, daß allein die Wässerungskurven bindende Schlüsse über die Dampfspannungs-Gleichgewichte der Zeolithe erlaubten. Am vollständigsten bearbeitete diesen Gegenstand *G. Stoklossa*[1]), indem er den Beweis erbringen wollte, daß Heulandit, Skolezit, Natrolith, Harmotom, Chabasit, Analcim und Apophyllit ihr Wasser chemisch gebunden, als echtes Hydratwasser enthielten. Im Gegensatz dazu hat nun *O. Weigel*[2]) gerade gefunden, daß die Entwässerungskurven die zuverlässigeren Werte für die Dampfspannungs-Gleichgewichte liefern können; sie lassen sich nach ihm von beiden Seiten erreichen, wenn bestimmte Temperaturen nicht überschritten werden. Auch *O. Weigel* fand auf den sorgfältig aufgenommenen Entwässerungs- und Wiederwässerungskurven, daß sich bei bestimmten einfachen stöchiometrischen Verhältnissen Knickpunkte finden, die *O. Weigel* aber im Gegensatz zu *A. Beutell* und *G. Stoklossa* nicht auf Verbindungen zurückführt, sondern auf Mischkristalle, die raumgittertheoretisch bevorzugten Anordnungen entsprechen und ähnlich sind den von *G. Tammann* angenommenen Strukturen bestimmter Grenzmischkristalle (vgl. S. 21). Diese ausgezeichneten Punkte der Kurven liegen auf einer Geraden, so daß einem jeden H_2O-Molekül, das ein- oder austritt, jedesmal etwa 62^0 als Temperaturstufe zugeordnet ist. Damit ist ein höchst einfacher Zusammenhang auch mit der Beobachtung von *F. Rinne* gegeben, daß jedesmal Einachsigkeit des Desmins eintritt, wenn eine einfache ganze Zahl von H_2O-Molekülen mit dem Silikatrest verbunden ist. Auch wurden beim Heulandit kontinuierliche Uebergänge von monoklinen zu pseudorhombischen Strukturen beobachtet, und in den letzteren verweilt der Zeolith bei bestimmten Hydratationsstufen (mit 3 und 1 Mol. H_2O). Daß für sämtliche Wassermoleküle im Heulandit die gleiche Anordnung angenommen werden muß, ist ein wichtiges Ergebnis der *O. Weigel*'schen Arbeiten[3]).

Im Gegensatz zu der Arbeit von *A. Beutell* und *G. Stoklossa* stehen noch die bemerkenswerten Ergebnisse von *K. H. Scheumann*[4]), in denen die hysteretischen Vorgänge infolge der Verzögerung der Wiederaufnahme des Wassers hervorragendes Interesse verdienen. Neuartig ist vor allen Dingen die von *K. H. Scheumann* versuchte Verknüpfung der Gesamteffekte dieser Reaktionen mit inneren Gleichgewichten kettenartig aneinandergereihter pseudobinärer und -ternärer Systeme im Sinne der *Smits*'schen Theorie der Allotropie (vgl. S. 15). In dieser Auffassung wären die Zeolithe Substanzen, die aus jeweils zwei Quasihydraten bestehen, die

[1]) G. Stoklossa, N. Jahrb. Beil.-Bd. **42**, 1—64 (1917).

[2]) O. Weigel, siehe loc. cit.

[3]) Ueber Heulandit siehe auch die interessante Studie von F. Rinne, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig **72**, 15 f. (1920).

[4]) K. H. Scheumann, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig **73**, 1—113 (1921); mit sehr vollständiger Literaturangabe.

ineinander übergehen können und unbegrenzt sich zu durchmischen vermögen [1]).

Auch *O. Weigel*[2]) hat sich ausführlich mit den *Beutell-Stoklossa*'schen Anschauungen auseinandergesetzt und sie im wesentlichen widerlegt. Es ist damit freilich noch nicht klar zu erkennen gewesen, ob das Wasser in den Zeolithen ionogen oder molekular gebunden sei. Diese Frage wurde von *O. Weigel*[3]) dadurch zu lösen versucht, daß z. B. am Heulandit die Elektrizitätsleitung untersucht wurde, wobei es sich ergab, daß das Leitvermögen der Zeolithe kein solches ist, in welchem die Beweglichkeit von Ionen (speziell der Silikat-Kationen) die Ursache ist, sondern daß in der Tat das Wasser molekular in ihnen eingelagert erscheint. Es treten infolgedessen bei dem sehr geringen Leitvermögen infolge rascher Verarmung an Elektronen hohe elektromotorische Gegenkräfte ein. Damit befinden sich die Zeolithe demnach in einem höchst bezeichnenden Gegensatz zu den Permutiten [4]), die in glasiger amorpher Silikatmasse ein rein elektrolytisches Ionenleitvermögen zeigen.

L. Vegard und *H. Schjelderup* [5]) haben versucht, auf röntgenographischem Wege die am Chabasit bei dessen Entwässerung eintretenden Vorgänge und Strukturbilder auf fortschreitenden Einsturz einzelner Gitterteile zurückzuführen. Dieser Anschauung gegenüber ist die von *O. Weigel* und *K. H. Scheumann* einwandfrei festgestellte Reversibilität des Entwässerungs- und Wiederwässerungsvorgangs zu betonen; die von *L. Vegard* und *H. Schjelderup* gezogenen Schlüsse sind also abzulehnen. *F. Rinne* (s. o.) hat auch wiederholt den kristallographisch-chemischen Abbau der Zeolithe untersucht und neuerdings auch röntgenographisch festzustellen versucht[6]). Vgl. auch *F. Rinne's* Untersuchungen über Glimmer[7]).

Die Absorption von Gasen durch entwässerten Chabasit hat *R. Nacken* und *W. Wolff*[8]) quantitativ verfolgt; die Absorptionsgleichgewichte gleichen in diesem Falle durchaus denen der Wasseraufnahme; das Wasser wird durch die Gase im Maße der Entwässerung ersetzt, und es besteht eine hohe Analogie zwischen der Gasabsorptions- und der Entwässerungskurve. Eine Erwärmung infolge der adiabatischen Kompression der absorbierten Gase wurde nicht beobachtet.

Ausgehend von seinen Erfahrungen und Theorien über die Fortführung der Basen aus Zeolithen durch Säuren hat *G. Tschermak*[9]) Anschauungen über Bestand und Verhalten der Zeolithe entwickelt, welche allerdings auf den inzwischen als unrichtig erkannten Vorstellungen über die konsti-

---

[1]) Vgl. auch F. Rinne, loc. cit. **72**, 14 (1920).
[2]) O. Weigel, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 164—178, 201—208.
[3]) O. Weigel, Zeitschr. f. Krist. **58**, 183—202 (1923).
[4]) Vgl. A. Günther-Schultze, Zeitschr. f. Elektrochem. **26**, 472 (1920).
[5]) L. Vegard u. H. Schjelderup, Ann. d. Phys. [4] **54**, 159 ff. (1917).
[6]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 237 f. (1924); N. Jahrb. Beil.-Bd. **48**, 240 (1923), speziell über Skolezit und Metaskolezit.
[7]) F. Rinne, SB. d. Sächs. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. **76**, 1—11 (1924).
[8]) R. Nacken u. W. Wolff, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 364—372, 388—394.
[9]) G. Tschermak, SB. d. Akad. d. Wiss. Wien **126**, 541—606 (1917); **127**, 177—289 (1918).

tuierenden „Kieselsäuren“ beruhen. Die magnetischen Messungen von *P. Pascal*[1]) haben die Unhaltbarkeit der *Tschermak*'schen Silikattheorie überzeugend dargetan.

Der Basenaustausch in den Zeolithen ist im Hinblick auf die Analcimisierung der Leuciteffusivgesteine[2]) von erheblicher Bedeutung. *J. Zoch*[3]) hat insbesondere den Austausch bei Desmin und Heulandit usw. untersucht; auch die Aenderungen der optischen Eigenschaften mit dem Ersatz der natürlichen Bestandteile (Ca, Na, K) durch andere (NH_4, Ag und Cu) wurde festgestellt. Ueber den Basenaustausch bei Desmin s. a. *A. Beutell* und *K. Blaschke*[4]). Der Basenaustausch findet nach äquivalenten Mengen statt, und damit ist die Analogie mit den schon von *J. Lemberg* u. a. untersuchten Verhältnissen bei künstlichen Tonerdesilikaten (s. o.) und ihren Basenaustauschreaktionen gegeben.

Der Basenaustausch ist auch bekanntlich vielen wasserhaltigen Gesteinsgläsern und namentlich den künstlichen „Permutiten“ eigentümlich. Namentlich *R. Gans* (besonders 1905 und 1906) hat diese Körper eingehend untersucht und neuerdings mit den „Bodenzeolithen“ verglichen[5]). Damit ist auch das interessante von *J. Lemberg* und *St. Thugutt* untersuchte Gebiet der Einwirkung von Salzlösungen auf die Tonerdesilikate bei 100—200° eröffnet, über das *H. Schneiderhöhn*[6]) eine ausgezeichnete Uebersicht gegeben hat. Diese Arbeit bedeutet für künftige Forschungen über Mineralzersetzung und die Verwitterung eine wichtige Grundlage. Jedenfalls sind die bei niedrigen Bildungstemperaturen auftretenden amorphen Körper nach der übereinstimmenden Ansicht von *R. Gans*, *E. Ramann*, *R. Wegner* und *D. J. Hissink*[7]) mit den austauschenden Verwitterungsprodukten des Ackerbodens, den „Bodenzeolithen“ identisch. Ueber die Einwirkung von Alkalisalzlösungen auf Feldspäte und Hornblende siehe auch *E. A. Stephenson*[8]).

Eingehende Untersuchungen über die Austauschreaktionen an „Permutiten“ liegen vor von *G. Kornfeld* und *V. Rothmund*[9]); von ihnen konnte gezeigt werden, daß der Basenaustausch im Sinne des Massenwirkungsgesetzes nach Aequivalenten erfolgt. Durch eine empirisch abgeänderte Exponentialformel gelang es ihnen, nicht nur für gleichwertige, sondern auch für ungleichwertige sich austauschende Ionen den Vorgang quantitativ darzustellen. Eine besondere „Tröpfelmethode“ führte *E. Ramann* und *A. Sprengel*[10]) sowie *H. Junk*[11]) zu ähnlichen Ergebnissen. Die Leitfähig-

[1]) P. Pascal, Compt. rend. **175**, 814 ff., 1063 ff. (1922).
[2]) Vgl. A. Lacroix, s. o. S. 104.
[3]) J. Zoch, Dissert. (Berlin 1915); Chemie der Erde **1**, Heft 3 (1915).
[4]) A. Beutell u. K. Blaschke, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 142—144.
[5]) R. Gans, Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. **35**, I, 219—253 (1915).
[6]) H. Schneiderhöhn, N. Jahrb. Beil.-Bd. **40**, 163—228 (1915).
[7]) Vgl. Chem. Weekbl. **15**, 517 (1918).
[8]) E. A. Stephenson, Journ. of Geol. **24**, 180—199 (1916).
[9]) G. Kornfeld u. V. Rothmund, Zeitschr. f. anorg. Chem. **103**, 129 (1918); **108**, 215 (1919); Zeitschr. f. Elektrochem. **23**, 173 (1917).
[10]) E. Ramann u. A. Sprengel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **95**, 115—128 (1916); **105**, 81—93 (1919).
[11]) H. Junk, loc. cit. **114**, 90—104 (1920).

keitsmessungen von *A. Günther-Schultze*[1]) an „Permutiten" ergaben, daß in ihnen die Kationen die Träger des Stofftransportes sind, findet doch in ihnen auch typische Ionendiffusion statt.

Die Verwitterung.

1. Die physikalischen Vorgänge. Die verschiedene Ausdehnung der Bestandteile von Gesteinen führt zur Zersprengung und Zerklüftung; wichtig sind daher die sehr ausführlichen tabellarischen Zusammenstellungen der Ausdehnungseigenschaften, die *K. Schulz*[2]) gegeben hat.

Ueber den Spaltenfrost und seine Wirkung siehe eine neuere Untersuchung von *A. Hamberg*[3]). Die Kristallisation des Eises aus den Eutektika (Kryohydraten) der Systeme H_2O—NaCl, KCl, NH_4Cl, $MgBr_2$ und -Rohrzucker erfolgt nach *W. Denecke*[4]) teils als Eis I, teils als III', gelegentlich auch II. Die Lage des Umwandlungspunktes I $\rightleftarrows$ III' ändert sich nicht durch die Anwesenheit des Salzes, es kristallisieren die Eisarten also rein aus (Eis III' ist eine instabilere Form als Eis III).

2. Die chemische Verwitterung. Ueber den klimatischen Einfluß der Bodenbildung siehe besonders *R. Lang* in seiner Systematik der Bodentypen[5]). Allgemeines über die physikalisch-chemischen Vorgänge bei der Verwitterung siehe in dem Aufsatz von *H. Harrassowitz*[6]).

Die schwierige Frage der Stärke der Kieselsäure ist zur Beurteilung der hydrolytischen Vorgänge bei der Verwitterung wesentlich; die geringe Löslichkeit der Kieselsäure[7]) sowie ihre geringe Beständigkeit und die Neigung zur Bildung kolloider Zustände lassen die üblichen Methoden zur Feststellung ihrer Stärke versagen. Infolgedessen zogen *P. Niggli* und *J. Johnston*[8]) die gewöhnliche Annahme der geringen Stärke der Kieselsäure in Zweifel. Auch die Stärke der Kohlensäure ist ein schwieriges Problem, zu dessen Lösung *O. Hähnel*[9]) Bemerkenswertes beitrug; nach seinen Daten wäre die Kohlensäure allerdings eine sehr schwache Säure zu nennen. Mittels sinnreicher Neutralisationsversuche gelang es *A. Thiel* und *R. Strohecker*[10]), die ungespaltene Kohlensäure vom Anhydrid CO_2 analytisch exakt zu trennen. Nur 0,67 Proz. der Gesamtkonzentration wären

---

[1]) A. Günther-Schultze, Zeitschr. f. phys.Chem. **89**, 168 (1914); Zeitschr. f. Elektrochem. **26**, 472 (1920).

[2]) K. Schulz, Fortschr. d. Min. **4** (1914); **5** (1916); **6** (1920).

[3]) A. Hamberg, Geol. Fören. Förhdl. **37**, 583—619 (1915).

[4]) W. Denecke, Zeitschr. f. arnorg. Chem. **108**, 1—43 (1919).

[5]) R. Lang, Geol. Rdsch. **6**, 242—263 (1915).

[6]) H. Harrassowitz, Naturw. Monatsschrift f. biochem. geogr. Unterr. **2**, Heft 9—12 (1920); dort zahlreiche Literatur.

[7]) cf. V. Lenher u. H. B. Merrill, Journ. Amer. Chem. Soc. **39**, 2630—2638 (1917).

[8]) P. Niggli u. J. Johnston, N. Jahrb. Beil.-Bd. **37**, 529 (1914).

[9]) O. Hähnel, Centr.-Bl. f. Min. 1920, 29 ff.

[10]) A. Thiel u. R. Strohecker, Dissert. (Marburg 1916); Ber. d. Deutsch. Chem. Ges. **47**, 945 (1914); Zeitschr. f. anorg. Chem. **121**, 211 ff. (1922).

wirkliche Kohlensäure, über 99 Proz. also freies Anhydrid. Bei starker Verdünnung ist die Kohlensäure alsdann sehr stark dissoziiert in $H^{\cdot}$ und HCO_3'-Ionen, und sie wäre alsdann relativ doppelt so stark wie Ameisensäure. Auch die von *J. Johnston*[1]) gegebenen Daten wären zu revidieren, weil dieser Autor die Annahme zugrunde gelegt hatte, daß CO_2 in wässeriger Lösung zu mehr als der Hälfte zu H_2CO_3 gebunden sei. Die Dissoziationskonstante der Kohlensäure K_w wäre nach *Thiel-Strohecker* bei 4^0 $4{,}4 \cdot 10^{-4}$; nach einer Berechnung von *L. Pusch*[2]) sogar $7{,}42 \cdot 10^{-4}$ (also rund 1000-mal größer als die früher von *Walker-Cormack* (1900) und *Michaelis-Rona*[3]) angegebenen Zahlen. Siehe auch die von *H. Schneiderhöhn*[4]) aus der Literatur zusammengetragenen Zahlen.

Ein ungemein wichtiges Problem ist auch die Lösung von $CaCO_3$ in CO_2-haltigem Wasser als Bikarbonat, wobei sowohl $CaCO_3$ wie dieses teilweise ionisiert ist[5]). Der CO_2-Gehalt einer an $CaCO_3$ gesättigten Lösung (oder deren CO_2-Druck) ist somit von ihrem $CaCO_3$-Gehalt abhängig[6]). Eine kinetische Studie über die Zersetzung der Bikarbonatlösungen durch Wärme führte *R. Stumper*[7]) durch, wobei sich erhebliche Unterschiede der Geschwindigkeit bei langsamem oder heftigem Verkochen einstellten. Die Löslichkeit von $CaCO_3$, $MgCO_3$, $SrCO_3$, $BaCO_3$ und einiger Schwermetallkarbonate in H_2O unter höheren CO_2-Drucken hat neuerdings *O. Hähnel*[8]) eingehend untersucht; es ergaben sich für die Erdalkalikarbonate bestimmte Grenzdrucke, oberhalb deren die Löslichkeit des Karbonats in CO_2—H_2O nicht mehr zunimmt, sondern unter Bikarbonatbildung konstant bleibt. Die Versuche, die Bikarbonate als feste Bodenkörper zu fassen, sind noch nicht abgeschlossen; doch ist an ihrer Beständigkeit bei hinreichenden CO_2-Drucken nicht zu zweifeln. Die Bikarbonatlösungen, welche bei höheren Drucken als dem Grenzdruck dargestellt wurden, sind bemerkenswerterweise auch nach Ablassen des Druckes (bei den Erdalkalisalzen wenigstens) oft viele Tage beständig, ihre Zersetzung also eine sehr langsame.

Den Einfluß von Lösungsgenossen auf die Löslichkeit von $CaCO_3$, $MgCO_3$ untersuchte *F. Gothe*[9]).

Die hydrolytische Spaltung bei der Verwitterung der Silikate ist wichtiger als die Einwirkung der Säuren[10]). Die Beobachtung von *E. Ramann*

---

[1]) J. Johnston, Journ. Amer. Chem. Soc. **37**, 2001 (1915).
[2]) L. Pusch, Zeitschr. f. Elektrochem. **22**, 206, 293 (1916).
[3]) Michaelis-Rona, Biochem. Zeitschr. **67**, 182 (1914).
[4]) H. Schneiderhöhn, Fortschr. d. Min. **9**, 67—160 (1924).
[5]) Vgl. A. Cavazzi, Gazz. chim. ital. **46**, II, 122—135 (1916).
[6]) Vgl. Löslichkeit und Partialdruck von CO_2 nach J. Johnston, N. Jahrb. 1915 II, 102; J. Johnston u. E. D. Williamson, Journ. of Geol. **24**, 729—750 (1916); Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 975 (1916); dort weitere Literatur. Siehe ferner C. A. Seyler und P. V. Lloyd, Journ. Chem. Soc. Lond. **111**, 994—1001 (1917); A. Cavazzi, Gazz. chim. ital. **47**, II, 49—63 (1917); R. C. Wells, Journ. Wash. Acad. Sci. **5**, 617—622 (1915).
[7]) R. Stumper, Compt. rend. **179**, 266—268 (1924).
[8]) O. Hähnel, Journ. f. prakt. Chem. **107**, 165—176 (1924); **108**, 61—74, 187—193 (1924).
[9]) F. Gothe, Chem.-Ztg. **39**, 305—307, 326 ff. (1915).
[10]) E. Ramann, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 233—242, 266—272.

und *H. Junk*[1]) ist ganz besonders bedeutsam, daß Hydroalumosilikate durch gemischte Salzlösungen besonders stark zersetzt werden können, auch wo eine Einwirkung von CO_2 und H_2O allein nicht für die Erklärung der Zersetzung herangezogen werden kann. Für die Vorgänge solcher Art im Erdboden sind besonders die $Mg^{\cdot\cdot}$-haltigen Lösungen von Belang[2]).

Am meisten ist die Kaolinisierung besonders durch die Forschungen von *H. Stremme* und seiner Schüler exakt chemisch untersucht worden[3]), auch hat *A. Lacroix*[4]) die Lateritbildung auf Madagaskar eingehend studiert. Doch ist noch nicht sicher, wie sich die pneumatolytische Kaolinbildung, die durch Wirkung von Humussäuren entstandene[5]) oder die atmosphärische unterscheiden soll. Auch hat *K. Hummel* neuerdings[6]) die elektrolytische Kaolinisierung in Erwägung gezogen. Für alle diese Genesen sind zahlreiche Belege angeführt; allerdings darf man nicht vergessen, daß der Begriff „Kaolin" oft recht verschieden gefaßt wird; besonders beachtenswert sind z. B. die Untersuchungen von *P. A. van der Meulen*[7]), in der die Tone als Mischungen von Kaolinit und Hydrargillit bezeichnet werden. In diesem Zusammenhange ist die Untersuchung von *G. Tammann* und *W. Pape*[8]) von Bedeutung, in der gezeigt wird, daß der Wasserverlust des Kaolins beim Erhitzen mit einem Zerfall des Aluminium-Hydro-Silikates in Tonerde und freie Kieselsäure verbunden ist. In gleicher Weise konnte *G. Tammann* und *C. F. Grevemeyer*[9]) beim Nontronit einen Zerfall in Fe_2O_3 und SiO_2 nachweisen. Sehr bedeutsam sind die Ergebnisse von röntgenographischen Studien *F. Rinne's*[10]) über die Kaoline, Allophantone usw., welch letztere eine viel feinere Dispersität besitzen als die Kaoline; Hinweise sind vorhanden, daß in ihnen Hydrargillit und Diaspor beigemengt sind, und ein amorpher Rest dürfte ein Kieselgel enthalten. So ist auch der Bauxit als ein Gemenge kristallisierter Stoffe zu erkennen, und zwar von Hydrargillit, Diaspor, Feldspat, Kaolin. Künstliche Fällungen von Aluminiumhydroxyd erwiesen sich als sehr fein kristallisiert[11]). So haben besonders auch *R. Fricke* und *F. Wever*[12]) durch röntgenographische Untersuchungen gezeigt, wie ein gefälltes Tonerde-Hydrat allmählich durch „Altern" in kristallinen Hydrargillit und Bauxit übergehen.

---

[1]) E. Ramann u. H. Junk, Zeitschr. f. anorg. Chem. **114**, 90—104 (1920).
[2]) E. Ramann, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 269.
[3]) Vgl. Doelter's Handb. d. Min.-Chem. 1914, II, Heft 6; Die Naturwiss. **5** 213—220 (1917).
[4]) A. Lacroix, Compt. rend. **159**, 617—622 (1914).
[5]) Vgl. Rohhumusverwitterung von Feldspat in Podsolböden, O. Tamm, Bull. Geol. Inst. Upsala **13**, 183—204 (1915).
[6]) K. Hummel, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 69.
[7]) P. A. van der Meulen, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 140—144 (1917); Ref. N. Jahrb. 1923, I, 353 f.
[8]) G. Tammann u. W. Pape, Zeitschr. f. anorg. Chem. **127**, 43—67 (1923).
[9]) G. Tammann u. C. F. Grevemeyer, Zeitschr. f. anorg. Chem. **135**, 197—200 (1924).
[10]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 60 ff. (1924).
[11]) Vgl. J. Böhm u. H. Niclassen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **132**, 1—9 (1923),
[12]) R. Fricke u. F. Wever, Zeitschr. f. anorg. Chem. **136**, 221—224 (1924).

Ueber die Serpentinisierung siehe die ausgezeichnete Monographie von *W. N. Benson*[1]); desgl. über die hydrothermale Entstehung des Sericits, der so oft als Verwitterungsmineral aufgefaßt wurde, die Arbeit von *A. F. Rogers*[2]).

Die Kolloid-Mineralogie.

Neuere Buchliteratur:

R. Zsigmondy, Kolloidchemie, 3. Aufl. (Leipzig 1921).
H. Freundlich, Kapillarchemie, 2. Aufl. (Leipzig 1922).
Wo. Ostwald, Die Welt der vernachlässigten Dimensionen, 5. Aufl. (Leipzig 1921).
C. Doelter, Die Farben der Mineralien (Braunschweig 1915).
Wo. Ostwald, Handbuch der Kolloidwissenschaft, Bd. I. Licht und Farbe von Kolloiden (Dresden u. Leipzig 1924).
E. Ramann, Bodenkunde (Berlin 1911).
P. Ehrenberg, Die Bodenkolloide (Dresden u. Leipzig 1915).
Sven Odén, Die Humussäuren (Dresden u. Leipzig 1919).

Färbung fester Dispersionen. Ueber Beziehungen zwischen Farbe und Dispersitätsgrad siehe *F. Kirchhof*[3]). Die blaue Farbe der Sodalith-Mineralien und des Ultramarins führt *C. Doelter*[4]) auf kolloiden Schwefel zurück. Die Färbung der Rosenquarze hat *E. F. Holden*[5]) nicht auf radioaktive Bestrahlungen zurückgeführt, sondern mit dem *C. Doelter*'schen Versuch[6]) der Zerstäubung von Gold auf Quarz in Parallele gesetzt; absorptionsspektrometrisch konnte das Vorhandensein von dreiwertigem Mangan erwiesen werden. Anderseits hat *C. V. Raman*[7]) gefunden, daß der Rauchquarz für gewöhnliches und ultraviolettes Licht optisch trübe ist, aber völlig durchsichtig für ultrarotes, da die Beugungseffekte umgekehrt proportional λ^4 sich verhalten. Eine besondere Stellung zu dem Problem der Färbung des Quarzes nehmen *G. O. Wild* und *R. E. Liesegang* ein[8]); nach ihnen ist die Farbänderung bei diesem Mineral nicht mit einer Aenderung der Dispersität verknüpft.

Das Färbungsphänomen am Flußspat wurde von *T. Sakao* und *M. Hirose*[9]) ultramikroskopisch untersucht, aber ohne Erfolg. Besser gelang die Untersuchung des durch α-Strahlen verfärbten Steinsalzes[10]); das

---

[1]) W. N. Benson, Amer. Journ. of Sci. [4] **46**, 693—731 (1918); Ref. N. Jahrb. 1922, I, 186—190.
[2]) A. F. Rogers, Econ. Geol. **11**, 118—150 (1916).
[3]) F. Kirchhof, Koll.-Zeitschr. **22**, 98—102 (1918); C. Doelter, loc. cit. **26**, 23—27 (1920).
[4]) C. Doelter, SB. d. Wien. Akad. I. math.-naturw. Kl. **124**, 37 (1915).
[5]) E. F. Holden, Amer. Min. **9**, 75—88, 101—108 (1924).
[6]) C. Doelter, Koll.-Zeitschr. **4**, 188 (1909).
[7]) C. V. Raman, Nature **108**, 81 (1921); Amer. Min. **9**, 41 (1924).
[8]) G. O. Wild u. R. E. Liesegang, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 481—483.
[9]) T. Sakao u. M. Hirose, Chem. News **125**, 213 (1922); Mem. Coll. Sci. Kyoto Imp. Univ. **4**, 349—350 (1921); Amer. Min. **9**, 41 (1924).
[10]) K. Przibram u. Marie Bělař, Wien. Anz. 1923, Nr. 16, 119—120.

durch Ra-Bestrahlung und Erwärmen danach auf 200° violett gefärbte Salz ist praktisch identisch mit dem natürlichen violetten Salz, während das natürliche blaue von Staßfurt etwas beständiger ist. Als Ursache der Verfärbung des natürlichen Salzes könnte die schwache Radioaktivität von Kalium angenommen werden. Siehe auch interessante optische Messungen an durch Röntgenstrahlen verfärbten Salzen (NaCl, KCl) bei *B. L. Bayley*[1]).

Eine Erklärung des Färbungsphänomens bei Bestrahlung durch radioaktive Substanzen gab *S. C. Lind* und *D. C. Bardwell*[2]) durch eine Umgruppierung der Elektronen-Konfigurationen. *F. Henrich*[3]) berichtet über Störungen des Kristallgefüges von Fluorit, welche durch radioaktive Bestrahlung künstlich hervorgerufen werden konnten, und welche auf eine Umladung der Ionen im $CaFl_2$-Gitter zu Neutralatomen zurückgeführt werden; analog hiermit wird das Vorkommen von freiem Fluor im Wölsendorfer Flußspat gedeutet[4]).

Die ultramikroskopische Untersuchung kristallisierter Substanzen haben *R. Lorenz* und *W. Eitel*[5]) an den sogenannten Metallnebeln angewandt zum Nachweis hochdisperser Metallkolloide in Schmelzflüssen der Halogenide, der letztere alsdann auch auf Entmischungsdispersoide vom Typus KCl—NaCl[6]). Ein besonderes Ultramikroskop für kristallisierte Mineralien siehe bei *W. Eitel*[7]). Die Ultramikronen opaleszierender Quarze untersuchte *E. Kalkowsky*[8]) nach ähnlichen Gesichtspunkten. In besonders eingehender Weise hat *A. Silverman*[9]) die kolloidale Natur vieler gefärbter und getrübter, auch opalescierender Gläser studiert; er hat durch eine große Zahl von Beobachtungen gezeigt, wie sehr nahe verwandt viele der wässerigen Kolloidsole in ihrem Verhalten den Dispersoiden in den Gläsern sind.

Von großem Interesse sind auch die von *A. Ehringhaus* und *R. Wintgen*[10]) an Goldsolen in geschmolzenem Borax gemachten Beobachtungen, welche die Koagulationstheorie von *M. v. Smoluchowski* (s. u.) auch für diese Gläser betätigen.

Ueber die Anwendung kolloidchemischer Betrachtungen auf Metalllegierungen siehe nach *C. Benedicks'* Vorgang (1910) *W. Guertler*[11]).

---

[1]) P. L. Bayley, Phys. Rev. [2] **21**, 716 (1923); Ref. Phys. Ber. **4**, 269 (1923).
[2]) S. C. Lind u. D. C. Bardwell, Amer. Min. **8**, 171—180 (1923); **9**, 35 (1924).
[3]) F. Henrich, Zeitschr. f. angew. Chem. **37**, 412 (1924).
[4]) Vgl. V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Schrift. I. math.-natv. Kl. 1924, Nr. 5, 57 f.
[5]) R. Lorenz u. W. Eitel, Zeitschr. f. anorg. Chem. **91**, 46 ff. (1915).
[6]) Centr.-Bl. f. Min. 1919, 173.
[7]) W. Eitel, loc. cit. 1919, 74.
[8]) E. Kalkowsky, Zeitschr. f. Krist. **55**, 23 (1915).
[9]) A. Silverman, Journ. Amer. Ceram. Soc. **7**, 795—802 (1924).
[10]) A. Ehringhaus u. R. Wintgen, Zeitschr. f. phys. Chem. **104**, 301—314 (1923); **108** 406 ff. (1924).
[11]) W. Guertler, Zeitschr. f. Metallkunde **11**, 61—65 (1919).

Die Kolloidsole und Gele. Ueber einfache Demonstrationen an den Suspensionen von Rutil und Anatas zur Beobachtung der *Brown*'schen Bewegung siehe die Ausführungen von *A. Ehringhaus* [1]).

Eine einfache neue Ultrafiltrations-Vorrichtung siehe *Wo. Ostwald* [2]). Einen sehr wesentlichen Fortschritt in der kolloidchemischen Untersuchung der Korngröße und der Verteilung der kolloiden Teilchen bedeutet die Konstruktion einer Ultrazentrifuge durch *The Svedberg* und *H. Rinde* [3]); besonders für amikronische Sole hat sich diese Vorrichtung sehr gut bewährt. Ueber die elektrische Ladung der Teilchen siehe Theoretisches bei *H. R. Kruyt* [4]). Besonders interessant sind in diesem Zusammenhang die Feststellungen von *E. Henrijean* und *W. Kopaczewski* [5]) über den Nachweis elektropositiver Kolloide in Mineralwässern, z. B. des Eisenhydroxyd-Sols.

Ueber Koagulation durch Ausfrieren siehe *H. W. Foote* und *B. Saxton* [6]). Ein besonders schönes Beispiel für die Ausfällung kolloider SiO_2-Lösungen durch die Elektrolyte des Meerwassers und die so zu erklärende Bildung von Feuersteineinlagerungen in marinen Sedimenten geben die Anschauungen von *W. J. Tarr* [7]). Gegen die von *W. J. Tarr* aufgestellte Hypothese wendet sich *C. W. Correns* [8]) in seinen Untersuchungen über die Entstehung der Lydite (Kieselschiefer). Siehe des weiteren *G. Linck* [9]) über die Entstehung der Schreibkreide.

Die kristalline Natur auch der feinsten Metallteilchen kolloider Lösungen ist durch die Untersuchungen von *P. J. Debije* und *P. Scherrer* [10]) röntgenographisch nachgewiesen worden. Die Abhängigkeit der „Bildungsform" von Gelen von topochemischen Einflüssen lehrte *V. Kohlschütter* [11]) kennen.

Die Erscheinung der Quellung wurde von *J. R. Katz* [12]) eingehend untersucht; den Zustand des gequollenen Körpers faßt man am besten als den einer festen Lösung von Wasser in der Substanz auf. Kristallisierte quellbare Stoffe verhalten sich den Zeolithen (s. o.) sowie den Mischkristallen mit Wasser als der einen Komponente (Glimmer usw.) sehr ähnlich.

---

[1]) A. Ehringhaus, Die Naturwiss. **11**, 42 f. (1923).
[2]) Wo. Ostwald, Koll.-Zeitschr. **22**, 72, 143 (1918).
[3]) The Svedberg u. H. Rinde, Journ. Amer. Chem. Soc. **46**, 2677 bis 2693 (1924).
[4]) H. R. Kruyt, Chem. Weekbl. 1917, 766.
[5]) E. Henrijean u. W. Kopaczewski, Compt. rend. **179**, 909—912 (1924).
[6]) H. W. Foote u. B. Saxton, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 588 (1916).
[7]) W. J. Tarr, Amer. Journ. of Sci. [4] **44**, 409—452 (1917); Ref. N. Jahrb. 1922, I, 206 f.
[8]) C. W. Correns, Mitt. d. Abt. f. Mikrosk. d. Preuß. Geol. Landesanst. 1924, 18—38.
[9]) G. Linck, Koll.-Zeitschr. **33**, 274 f. (1923).
[10]) P. J. Debije u. P. Scherrer, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. 1918, 98.
[11]) V. Kohlschütter, Zeitschr. f. anorg. Chem. **105**, 1—25 (1919).
[12]) J. R. Katz, Die Gesetze der Quellung, Diss. (Amsterd. 1917); Kolloidchem. Beih. **9**, Heft 1, 1917.

Ueber solche kristalline quellbaren Stoffe siehe *J. R. Katz*[1]) und *F. Rinne*[2]), wo auch auf den von *L. W. Mc. Keehan* neuerdings röntgenographisch untersuchten Fall der Pd-H_2-Kristalle, welche auch gewissermaßen gegen den Pd-Kristall gequollen erscheinen, hingewiesen wird. Wenn *J. R. Katz* die gequollenen Substanzen als feste Lösungen der Imbibitionsflüssigkeiten im Gerüst der eigentlichen Substanz auffaßt, so ist besonders auch die Auffassung der Zeolithe nach gleichen Gesichtspunkten naheliegend. — Ueber quellenden Kaolinit siehe im besonderen *W. T. Schaller* und *R. K. Bailey*[3]). — Der als reversibles natürliches Kolloid schon von *H. v. Höfer* und *A. Himmelbauer* (1913) erkannte Ilsemannit wurde genetisch vor allen Dingen von *E. Dittler*[4]) eingehend untersucht; die Genesis dieses interessanten Minerals ist durch diese sehr vollständige Arbeit in weitgehendem Maße geklärt worden.

Eine Fülle von Einzelbeobachtungen beziehen sich insbesondere auch noch auf die Kolloidgel-Natur der Tone. Interessant ist vor allem der von *D. J. Hissink*[5]) gegebene Befund, daß Ammoniak und Basen Tonsuspensionen zu stabilisieren vermögen. Die Zustandsänderungen der Kolloide wie Quellung, Ausflockung und Wiederauflösung zu Solen (Peptisation) verläuft unter sehr geringer, manchmal selbst meßbarer Wärmetönung, wie *H. R. Kruyt*[6]) gefunden hat.

Eine außerordentlich wichtige Frage ist speziell z. B. für die Bildung von Tonsedimenten aus kolloiden Suspensoiden die Ausflockung durch Elektrolytzusätze infolge von Entladungserscheinungen. Nach Erreichung eines isoelektrischen Punktes (bei genauer Aufhebung der Sol-Ladung durch Zugabe eines bestimmten entgegengesetzt geladenen Ions) ist bekanntlich der Beginn der Ausflockung durch Einhaltung einer bestimmten Minimalkonzentration an dem ausfällenden Ion, des „Schwellenwertes" (*Bodländer,* 1893) erforderlich. Man hat nach den Ergebnissen der Forschungen von *R. Zsigmondy* gefunden, daß es richtiger wäre, von einer „Schwellenzone" zu reden, innerhalb der sich die Geschwindigkeit der Koagulationsvorgänge mit dem Elektrolytzusatz mehr oder weniger stark ändert. Vor allem hat die von *M. von Smoluchowski* gegebene mathematische Theorie der Koagulation[7]) in hohem Grade anregend gewirkt[8]).

Die Frage der Struktur auch mineralischer Hydrogele war ehedem nur im Sinne der von *O. Bütschli* gegebenen Theorie der ultramikroskopischen Wabenstruktur bestimmt worden, was durch die neueren Forschungen von

---

[1]) J. R. Katz, loc. cit. 20 ff.; ferner Zeitschr. f. physiol. Chem. 1915.

[2]) F. Rinne, Die Krist. als Vorbild. d. feinbaul. Wesens d. Mat. 1921, 94 f.; s. neuerdings auch Zeitschr. f. Krist. **59**, 233 (1924).

[3]) W. T. Schaller u. R. K. Bailey, Journ. Wash. Acad. Sci. **6**, 67 (1916).

[4]) E. Dittler, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 689; 1924, 705 ff.

[5]) D. J. Hissink, Chem. Weekbl. 1915, 366.

[6]) H. R. Kruyt, Chem. Weekbl. 1918, 480.

[7]) M. von Smoluchowski, Zeitschr. f. phys. Chem. **92**, 129 (1917).

[8]) Siehe eine Zusammenfassung der Ergebnisse bei A. Westgren und J. Reitstötter, Die Naturwiss. **8**, 277 ff. (1920).

R. Zsigmondy und *W. Bachmann*[1]) als Deutung der wahren Feinstruktur nicht in Betracht kommt. Vielmehr ist die Heterogenität der eingetrockneten Gele eine außerordentlich feine, ultramikroskopisch wohl kaum mehr wahrnehmbare. Mit dieser feinen Struktur kann jedoch eine solche auch verknüpft sein, die sich z. B. in dem optischen Verhalten dieser Substanzen bemerkbar macht. So ist insbesondere das Vorhandensein der durch Schrumpfung entstehenden Spannungsdoppelbrechung [vgl. *R. E. Liesegang*[2]); siehe auch *K. Schaum*[3])] sowie einer typischen Stäbchendoppelbrechung *(Wiener)* zu bedenken, welche insbesondere *H. Ambronn*[4]), und neuerdings *M. Wächtler*[5]), des näheren untersuchte; insbesondere hat neuerdings *F. Rinne*[6]) bei der faserigen Tonerde die amorphe Struktur trotz der starken positiv-einachsigen Doppelbrechung röntgenographisch erweisen können und gezeigt, daß beim Durchtränken mit Oel diese verschwindet.

Im Anschluß an die ausgezeichneten und grundlegenden Studien von *van Bemmelen* über die Aenderung der physikalischen Eigenschaften von Gelen mit dem Wassergehalt (bei Entwässerung und Wiederwässerung) ist die kolloidale Kieselsäure und andere Mineralgele neuerdings wiederholt untersucht worden. So hat *F. Rinne*[7]) z. B. das Verhalten der kolloidalen Opalgele bei sehr tiefen Temperaturen studiert und gefunden, daß selbst bei der Temperatur flüssiger Luft der Opal klar verbleibt, da ein Ausfrieren des Wassers als Eis nicht stattfindet. *F. Rinne* bezeichnet[8]) diesen der unterbliebenen Modifikationsänderung kristalliner Stoffe analogen Vorgang als eine Hemmung unter dem negativ-katalytischen Einfluß des Kolloids selbst. — Eine Anwendung der *Zsigmondy*'schen Kapillaritätstheorie auf die Natur der Kieselsäuregele gab auch *J. S. Anderson*[9]). In Analogie zu den schon erwähnten älteren Versuchen von *van Bemmelen* hat *W. Bachmann*[10]) eine sehr ausführliche Untersuchung der Entwässerung und Wiederwässerung von verschiedenen Gelatinearten, Kokosnußkohle, den dem Chabasit nahestehenden Calciumpermutiten, natürlichem Hydrophan u. dgl. gegeben; der Verlauf der hysteretischen Kurven ist daher in hohem Grade analog den von *van Bemmelen* ausführlich beschriebenen Verhältnissen.

Im Zusammenhang mit diesen Erscheinungen steht auch die Diagenese von kolloiden Sedimenten der Natur, besonders von Tonen; vor allem deren plastische Eigenschaften haben neuerdings wiederholt Unter-

---

[1]) R. Zsigmondy u. W. Bachmann, Koll.-Zeitschr. **23**, 85 (1918).
[2]) R. E. Liesegang, Koll.-Zeitschr. **15**, 18 (1914).
[3]) K. Schaum, Die Naturwiss. **6**, 540 (1918).
[4]) H. Ambronn, Koll.-Zeitschr. **18**, 90—97, 273—281 (1916); **20**, 173—185 (1917).
[5]) M. Wächtler, Zeitschr. f. techn. Phys. **5**, 418—423 (1924).
[6]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 62 (1924).
[7]) F. Rinne, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **39**, 328 (1914).
[8]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 231 (1924).
[9]) J. S. Anderson, Zeitschr. f. phys. Chem. **88**, 191 (1914).
[10]) W. Bachmann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **100**, 1—76 (1917).

suchungen angeregt, so z. B. *H. Ries*[1]) und *A. Atterberg*[2]), der den Zusammenhang der Plastizität mit der Konsistenz der Tone untersuchte.

Ueber die Adsorption (Sorption, *Wo. Ostwald*) finden wir zahlreiche neuere Einzeluntersuchungen vor, welche z. T. sehr erhebliche Bedeutung für die Naturvorkommnisse besitzen. *R. Marc*[3]) behandelte insbesondere die Geschwindigkeit der Adsorptionen [vgl. auch *O. Arendt*[4])]. Zahlreiche Fälle selektiver Adsorptionen des Mineralreiches treten uns entgegen[5]). Sehr beachtenswert sind z. B. auch die Versuche von *Geloso*[6]) über die quantitative Adsorption des Eisens an Mangandioxydhydrate bestimmter Vorbehandlung, wobei sich die Gültigkeit der Adsorptionsisotherme von *H. Freundlich* ergeben hat (vgl. Fig. 46). Ueber die Adsorption des Sulfations am Eisenhydroxydgele hat *E. Dittler*[7]) wichtige Beobachtungen gemacht. Besonders aber vermochte *E. Ebler* und *A. J. van Rhyn*[8]) die selektive Adsorption radioaktiver Stoffe an Mineralquell-Sedimente und Gesteins-Zersetzungsprodukte im Naturvorkommen zu studieren. Die Ent-

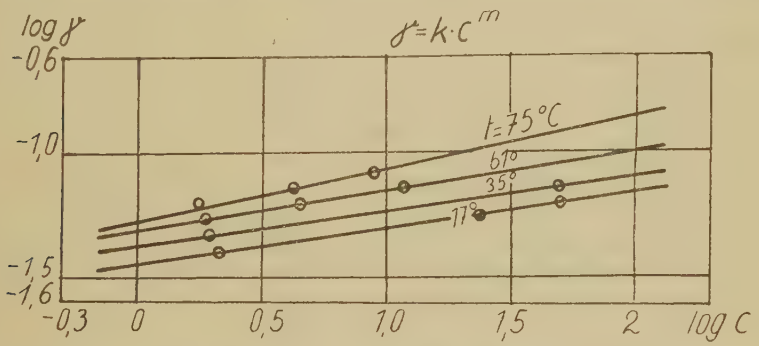


Fig. 46 Adsorption des Eisens durch kolloidales Mangandioxyd (nach Geloso).

stehung der so wichtigen Manganwiesenerze durch Ausfällung des Mangans aus meteorischen Oberflächenwässern (insbesondere durch Karbonate) hat eine Arbeit von *G. A. Thiel*[9]) zum Gegenstand. Auch hat die mikrographische Untersuchung von kolloidalen Eisen- und Manganerzen der Natur einige sehr beachtenswerte Anhaltspunkte für die Art ihrer Entstehung ergeben[10]). Vor allem aber haben die wichtigen Adsorptions-

---

[1]) H. Ries, Amer. Journ. of Sci. [4] **44**, 316 (1917).
[2]) A. Atterberg, Koll.-Zeitschr. **20**, 1—6 (1917); über das Problem der Plastizität im allgemeinen siehe auch O. Ruff, Zeitschr. f. anorg. Chem. **133**, 187 bis 192 (1924).
[3]) R. Marc, Zeitschr. f. Elektrochem. **20**, 515—521 (1914).
[4]) O. Arendt, Kolloidchem. Beih. **7**, 212—250 (1917).
[5]) Siehe bei O. Nägeli, Koll.-Zeitschr. **16**, 19 (1915).
[6]) Geloso, Compt. rend. **178**, 1001—1003 (1924).
[7]) E. Dittler, Koll.-Zeitschr. **21**, 27 (1917).
[8]) E. Ebler u. A. J. van Rhyn, Zeitschr. f. anorg. Chem. **119**, 121, 135—144.
[9]) G. A. Thiel, Amer. Journ. of Sci. [5] **7**, 457—472 (1924).
[10]) H. Reusch, Diss. (Gießen 1923).

versuche von *C. W. Correns*[1]) die selektive Adsorption von Schwermetallsalzen an Sand, Kaolin und Kalk aus sehr verdünnten Lösungen mit Rücksicht auf gewisse Naturvorkommnisse in manchen Erzlagerstätten außerordentlich klärend gewirkt.

Die Erscheinung der Adsorption von Farbstoffen an kolloide Mineralien hatte schon 1904 von *Suida* und 1909 von *Hundeshagen* eingehende Studien erfahren; in neuerer Zeit hat den gleichen Gegenstand behandelt *P. Rohland*[2]) und *Wilhelm Graf zu Leiningen*[3]).

Außerordentliches Interesse besitzen die Erscheinungen anisotroper Teilchen in kolloid-dispersen Systemen, wie diese im Vanadinpentoxydsol sowie in denen von PbJ_2 und HgJ_2 nachgewiesen wurden[4]). *F. Rinne*[5]) hat neuerdings auch direkt durch röntgenographische Aufnahmen die kristallisierten Teilchen in den eingetrockneten Lösungen von V_2O_5 erkannt. Damit ist auch ein Zusammenhang mit den grundlegenden Versuchen von *P. Scherrer*[6]) gegeben, nach denen anorganische Sole und Gele wie solche von Kieselsäure und Zinnsäure, sowie von Metallen (Au, Ag) kristallisierte Teilchen erkennen lassen, welche in ihren Strukturen den kompakten Kristallarten der Natur völlig entsprechen. *F. Rinne*[7]) konnte allerdings im Speziellfall des Opals, Hydrophans, Hyaliths usw. noch nicht unterscheiden, welche Kristallarten (Quarz, Tridymit oder Cristobalit) in diesen aufzutreten beginnen.

Die neueren röntgenographischen Methoden haben nach den schon erwähnten Studien von *F. Rinne* auch in zahlreichen anderen Fällen wichtige Aufklärungen über die Natur der Kolloid-Gelmineralien gegeben im Vergleich zu der Beschaffenheit ihrer zugehörigen Kristallarten. So haben die auch von *J. Böhm* und *H. Niclassen*[8]) dargestellten $Al(OH)_3$-Niederschläge nach *F. Rinne* die röntgenspektrographische Natur von Hydrargillit, und die durch Glühen erzeugte „amorphe" Tonerde zeigt die Linien des Korundes. Der aus kolloidaler Kieselsäure hervorgegangene Chalcedon (Achat) ist als Quarz zu erkennen usw. Die Allophantone zeigen die Linien des Hydrargillits in schwacher Ausprägung, während die Kaoline kristallisierte Aggregate darstellen. Amorph sind dagegen zweifellos die Permutite.

Eine große Zahl von Einzelarbeiten beschäftigt sich mit den komplizierten speziellen Verhältnissen der Bildung kolloidaler Erze und Sedimentmineralien. So hat *J. H. L. Vogt*[9]) sich im besonderen mit den mangan-

---

[1]) C. W. Correns, Koll.-Zeitschr. **34**, 341–349 (1924).
[2]) P. Rohland, Koll.-Zeitschr. **15**, 180 (1914); **16**, 16 (1915).
[3]) Wilhelm Graf zu Leiningen, loc. cit. **19**, 165 (1916).
[4]) Von W. Reinders, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **25**, I, 25 (1916).
[5]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 63 (1924).
[6]) P. Scherrer, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. **1918**, 98—100.
[7]) F. Rinne, loc. cit.
[8]) J. Böhm u. H. Niclassen, Zeitschr. f. anorg. Chem. **132**, 1 ff. (1923); vgl. auch R. Fricke u. F. Wever, loc. cit. **136**, 221—224 (1924).
[9]) J. H. L. Vogt, Tekn. Högskol. Geol. Inst. Medd. Nr. 6; Norges Geol. Unders. Aarbok 1915, VI.

haltigen Eisenerzen beschäftigt, desgl. *B. Aarnio* mit den See-Erzen des südfinnischen Gebietes [1]). Die nahe damit verwandten Probleme der Eisenoolithbildung behandelte *K. Hummel* [2]). *H. Stremme* [3]) führte die Ortsteinbildung auf die Entladung elektrisch positiver Teilchen in kapillaren Hohlräumen zurück; analog denkt sich *H. Stremme* auch die Lateritbildung bei höheren Temperaturen. Ueber die Ortsteinfrage siehe auch *O. J. Lukkala* [4]) sowie *O. Tamm* [5]).

Die Terra rossa und ihre Bildung betrachtete *D. J. Hissink* [6]) vom kolloidchemischen Standpunkte aus. Ein besonders eingehend untersuchtes Gebiet ist auch das der Lateritbildung, welche *A. Lacroix* zum Gegenstand seiner Arbeiten gemacht hat [7]); siehe auch *R. Lang* [8]) sowie *J. Walther* [9]). Die Bauxite des Vogelsbergs untersuchte *H. Harrassowitz* [10]) nach ähnlichen Gesichtspunkten.

Ueber die kolloiden Tone siehe des weiteren *P. Ehrenberg* und *G. Given* [11]); ferner *O. Schmidt* [12]).

Als kolloidales Mangansilikat lehrten *J. T. Pardee*, *E. S. Larsen* und *G. Steiger* [13]) den Neotokit kennen, welcher als wasserhaltiges Zersetzungsprodukt verschiedener Mangansilikate auftritt. So ist auch der Poechit [siehe *F. Katzer* [14])] ein manganreiches Eisenkieselsäuregel mit hohem Wassergehalt metasomatisch-deszendenter Entstehung. Eine andere Erscheinung ist die Hisingeritbildung aus Kupferkies, Pyrit und Hypersthen unter dem Einfluß von Tageswässern, wie sie *G. M. Schwartz* [15]) ausführlich beschrieb. Mit diesen letzteren Problemen stehen wir mitten in den Erscheinungen der Kolloidmineralien in den eisernen Hüten von Erzlagerstätten u. dgl., wie diese ganz allgemein von *H. Schneiderhöhn* [16]) und *G. D. Hubbard* [17]) dargestellt worden sind. Hier ist auch die Bildung der Eisendydroxyde nach dem natürlichen Entstehungsprozeß in der Oxydations-

---

[1]) B. Aarnio, Fennia **41**, Nr. 4 (1920); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1923, II, 52f.

[2]) K. Hummel, Met. u. Erz **18**, 577—579 (1921).

[3]) H. Stremme, in C. Doelter's Handb. d. Min.-Chem. III, 1917, 30—94; Koll.-Zeitschr. **20**, 161—168 (1917).

[4]) O. J. Lukkala, Acta forestalia fennica **16** (1920); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1923, II, 49.

[5]) O. Tamm, Abhdl. från statens skogsförsöksanst. 1920, Heft 17, Nr. 3; Ref. N. Jahrb. f. Min. 1923, II, 50f.

[6]) D. J. Hissink, Verhdl. Geol. Mijnbouwk. Genotsch. Geol. Sect. **2**, 197—221 (1917); vgl. E. Blanck, Landwirtsch. Versuchsstat. **87**, 251—314.

[7]) A. Lacroix, Compt. rend. **158**, 835—838 (1914); **159**, 618 (1914).

[8]) R. Lang, Chem. d. Erde **1**, 134—154 (1915); Centr.-Bl. f. Min. 1914, 641 bis 653; 1915, 148—160.

[9]) J. Walther, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **67**, 113—132 (1915); Petermann'sche Mitt. **62**, 1—7, 46—53 (1916).

[10]) H. Harrassowitz, Met. u. Erz **18**, 561—577 (1921).

[11]) P. Ehrenberg u. G. Given, Koll.-Zeitschr. **17**, 13 (1915).

[12]) O. Schmidt, Diss. (Jena 1922).

[13]) J. T. Pardee, E. S. Larsen u. G. Steiger, Journ. Wash. Acad. Sci. **11**, 25—32 (1921).

[14]) F. Katzer, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 738ff.

[15]) G. M. Schwartz, Amer. Min. **9**, 141—144 (1924).

[16]) H. Schneiderhöhn, Fortschr. d. Min. **9**, 67—160 (1924).

[17]) G. D. Hubbard, Amer. Journ. of Sci. [5] **4**, 139—158 (1922).

zone bemerkenswert, wie sie vor allen Dingen in den ausführlichen experimentellen Studien von *E. Posnjak* und *H. E. Merwin*[1]) behandelt worden ist. Den Uebergang von solchen Eisenhydroxydgelen in Goethit hat *O. Mügge*[2]) eingehend beschrieben[3]). Ueber kolloidale Eisenkarbonatgele (Weißeisenerze) siehe *P. Krusch*[4]).

Ein eigenartiges Problem bildet endlich die mehrfach untersuchte Bildung von Metallsulfiden in fauligen Böden; so ist nach *V. Rodt*[5]) die Entstehung des kolloidalen Eisensulfids in solchen bei Abwesenheit alkalisch reagierender Stoffe und der Erdalkalikarbonate verständlich. Hierbei wird Eisensulfid-Hydrogel (Hydrotroilit) mit Schwefel reagieren unter Bildung von Eisendisulfid-Gel (Melnikowit), welches in die stabile anisotrope Kristallart (Pyrit) überzugehen bestrebt ist. Eine ganz allgemeine Darlegung der Entstehung von Erzen aus kolloidalen Lösungen gab *J. D. Clark* und *P. L. Menaul*[6]); vgl. auch *P. Krusch*[7]).

Ueber ein kolloidales Mineral der Apatitgruppe, den Kollophan (im Gegensatz zu Dahllit-Kristallart) siehe die Untersuchung von *A. F. Rogers*[8]). Die Deutung der Tektite oder „Glasmeteoriten" als fossiler Mineralhydrogele führte *N. Wing Easton* durch[9]).

Die Bildung von Hydraten aus Anhydriden unter Abbindungs-Vorgängen bzw. die Reaktionen von hydraulischen Zementen u. dgl. sind nach den älteren Untersuchungen von *H. Ambronn* und *W. Michaelis* (1909 und 1910) mit dem Auftreten kolloidaler Zwischenphasen verbunden, und so zeigten denn auch neuere Ultramikroskop-Studien von *J. Traube*[10]) beim Abbinden des Gipses solche kolloide Uebergangsstrukturen[11]). Ganz analog ergeben sich nach *H. Schade* (1910) die Bildungen konzentrisch-schaliger Strukturen bei der Abscheidung gelbildender Kolloide gleichzeitig mit der Ausscheidung kristalloider Sedimente, so vor allem in den Rogensteinen usw. Noch allgemeiner hat W. *H. Bucher*[12]) zu zeigen vermocht, daß alle Oolithe und Sphärolithe der Natur durch Uebergang kolloider Massen entstehen, und zwar sind radialstrahlige im Falle der Bildung reiner Mineralien zu beobachten, konzentrisch-schalige aus verunreinigten Kolloiden gebildet[13]).

---

[1]) E. Posnjak u. H. E. Merwin, Amer. Journ. of Sci. [4] **47**, 311 (1919).
[2]) O. Mügge, N. Jahrb. f. Min. 1916, 158ff.
[3]) Vgl. auch H. Leitmeier, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 473ff., und K. Willmann, loc. cit. 1921, 673ff.
[4]) P. Krusch, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges., Mon.-Ber. **74**, 207—215 (1922).
[5]) V. Rodt, Mitt. d. Materialprüfungs-Amts Gr.-Lichterf. **36**, 93 (1919); siehe auch Die Naturwiss. **5**, 101—104 (1917).
[6]) J. D. Clark u. P. L. Menaul, Econ. Geol. **11**, 37—41 (1916).
[7]) P. Krusch, Die Naturwiss. **8**, 1028 (1920).
[8]) A. F. Rogers, Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 269—276 (1922).
[9]) N. Wing Easton, Centr.-Bl. f. Min. 1923, 33—42; Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **29**, 789 (1921).
[10]) J. Traube, Koll.-Zeitschr. **25**, 62 (1919); vgl. Wo. Ostwald, loc. cit. **27**, 78 (1920).
[11]) Vgl. auch R. Falck-Muus, Tekn. Uhrblad **31** (1915); Tidsskr. f. bergväsen 1915, Nr. 7.
[12]) W. H. Bucher, Journ. of Geol. **26**, 593—609 (1918).
[13]) Vgl. T. C. Brown, Bull. Geol. Soc. Amer. **25**, 745—777 (1914).

Daß selbst gewisse Probleme der Kohlengeologie vom kolloid-mineralogischen Standpunkte aus in Angriff genommen werden können, erwies *H. Winter*[1]) durch die Untersuchung des Mikrogefüges von Kohlegesteinen, welches mit dem von organischen Gelen übereinstimmt.

Seit den schönen und anregenden Arbeiten *R. E. Liesegang's* über die Diffusionen in Gelen und die durch sie vermittelten Reaktionen in solchen ist eine Fülle neuen diesbezüglichen Beobachtungsmaterials zusammengetragen worden. Speziell hat *R. E. Liesegang* selbst 1915 in seinem Buche über die Achate die rhythmischen Fällungen bei ihren Bildungen aus Kieselsäuregel im einzelnen besprochen und die völlige Uebereinstimmung mit seinen Experimenten nachgewiesen. Eine Diskussion mit *O. M. Reis*[2]) hat die Unterschiede von dessen „Durchsinterungs"-theorie und der besser erwiesenen von *R. E. Liesegang* klar ergeben und die natürlichen Diffusionen als maßgebend herausgestellt. Zahlreiche Einzelabhandlungen von *R. E. Liesegang* geben Aufschlüsse über Pseudoklase, Pseudostalaktiten-Bildung usw.[3]). Besonders wesentlich ist die von *R. E. Liesegang* aufgestellte genetische Systematik der natürlichen konkretionären Bildungen[4]); es wurden auch von *R. E. Liesegang* die schon von *G. Linck*[5]) beschriebenen Eozoon-Strukturen, Erzschläuche, Verwitterungsringe u. dgl. genetisch diskutiert. Ueber die Manganknollen der Tiefsee siehe *G. A. F. Molengraaff*[6]).

Daß die bei Entstehung der Achatstrukturen durch Diffusionen und rhythmische Fällungen vorausgesetzten kolloiden SiO_2-Gele wohl hydrothermal in den natürlichen Melaphyr-Mandelräumen gebildet wurden, ist nach *R. Nacken's* Ausführungen[7]) durchaus wahrscheinlich; dem steht freilich das von *P. Niggli*[8]) geäußerte Bedenken entgegen, daß in dem System aus alkalireichen Alkalisilikatlösungen nicht mehr Fälle vom P-Q-Typus vorliegen könnten, daß also erst bei relativ hohen Temperaturen fluide Zustände auftreten.

Aehnliche Strukturen wie bei den *Liesegang*'schen Rhythmenfällungen beobachtete *A. Knopf*[9]) an Holzzinn, dessen Bänderung auf wesentlich die gleichen Diffusionsvorgänge wie bei den Achaten zurückgeführt werden können. Ueber die Rhythmenbildungen siehe weiterhin auch *F. Küster*[10]), *W. Möller*[11]) und *J. S. Stansfield*[12]). Eine Anwendung auf die Anhydrit-Salz-

---

[1]) H. Winter, Koll.-Zeitschr. **19**, 8—11 (1916).
[2]) O. M. Reis, Geognost. Jahresh. 1916—1918; Einzelheiten über die Entstehung d. Enhydros (München 1920); Centr.-Bl. f. Min. 1920, 369 ff.
[3]) Vgl. z. B. R. E. Liesegang, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **39**, 268 (1914); Geol. Rundsch. **5**, 241 (1914) usw.
[4]) R. E. Liesegang, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 257 ff.
[5]) G. Linck, Chemie d. Erde **1**, 1 (1914).
[6]) G. A. F. Molengraaff, Versl. K. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **24**, 415 bis 430 (1925); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1916, II, 282 f.
[7]) R. Nacken, Die Naturwiss. **5**, 269, 292 (1917).
[8]) P. Niggli, Die leichtflüchtigen Bestandteile d. Magmas 1920, 251.
[9]) A. Knopf, Econ. Geol. **11**, 652 (1916).
[10]) F. Küster, Koll.-Zeitschr. **14**, 307 (1914).
[11]) W. Möller, loc. cit. **20**, 2, 42 (1917); **22**, 155 (1918).
[12]) J. S. Stansfield, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 1—26 (1917).

ablagerungen der Zechsteinmeere versuchten *E. Fulda* und *H. Röhler*[1]). Nicht unwesentlich ist auch der Hinweis von *C. Berg*[2]), daß die konzentrisch-schaligen Gefüge der Glaukonite auf rhythmische Fällungen zurückgeführt werden können.

Die Bildung von kristallisierten Niederschlägen aller Art in Gelen, welche die Diffusion sehr verlangsamen, beobachtete eingehend *H. N. Holmes*[3]); hier sind sehr wertvolle Mitteilungen über die Entstehung kristallisierten Goldes und Kupfers in Kieselsäuregel enthalten.

Kristallisation aus wässerigen Lösungen.

(Ausscheidungs-Sedimentation.)

Allgemeines über die genetische Klassifikation der Vorgänge in den sedimentpetrographischen Systemen gab *P. Niggli*[4]). Ueber Tone, Grauwacken, Arkosen siehe bei *W. Salomon*[5]); die marinen Sedimente behandelte sehr ausführlich *K. Andrée*[6]); siehe auch dessen zahlreiche Abhandlungen[7]).

Als Leitprinzip der Untersuchungen über die Kristallisation aus übersättigten wässerigen Lösungen stand bisher die von *W. Nernst*[8]) (1904) begründete Theorie im Mittelpunkt, nach der es Diffusionsströme sind, welche die Stoffzufuhr aus der den wachsenden Kristall umgebenden übersättigten Lösung durch eine unmittelbar auf dessen Oberfläche adsorbierte gesättigte Flüssigkeitsschicht erfolgt. Es wurde dabei die Annahme gemacht, daß sich das Gleichgewicht an der Trennungsfläche zwischen Kristall und Flüssigkeit mit praktisch unendlich großer Geschwindigkeit (im Vergleich zur Diffusionsgeschwindigkeit) einstellt. Zahlreiche Untersuchungen haben Abweichungen von der *Nernst*'schen Diffusionsgleichung

$$\frac{dx}{dz} = KO\,(c - c_0)$$

ergeben (darin $\frac{dx}{dz}$ die Gewichtszunahme des Kristalls in der Zeiteinheit, c die Konzentration der Lösung, c_0 desgl. die der Grenzschicht, O die Oberfläche des Kristalls). Von neueren Kristallisationsversuchen seien genannt die von *A. Ritzel*[9]) über die Kristallisation von Mischkristallen;

---

[1]) E. Fulda u. H. Röhler, Kali **15**, 108—109 (1921).
[2]) C. Berg, Jahresh. u. Mitt. d. Oberrhein. Geol. Ver. 1921.
[3]) H. N. Holmes, Journ. of the Frankl. Inst. **18**, 7, 43 (1917).
[4]) P. Niggli, Verhandl. d. Schweiz. Naturforsch.-Ges. (Neuenburg 1920).
[5]) W. Salomon, Geol. Rundsch. **6**, 398—404 (1915).
[6]) in dem Buche „Geologie des Meeresbodens" (Berlin 1920), 2 Bde.
[7]) K. Andrée, Geol. Rundsch. **3** (1912); **7**, 123—170, 249—301 (1916); **8**, 36—79 (1917); **11**, 116—144, 235—249 (1920); Geol. Archiv **2**, 257—297 (1923); Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **75** (1923), Mon.-Ber. 145—151; Beiträge in W. Salomon's Grundz. d. Geol., 361—533; 715—790.
[8]) W. Nernst, Theoret. Chem. 1921, 657 ff.
[9]) A. Ritzel, Chemie d. Erde **1**, 9—48, 270 (1915).

ferner von *P. A. Zemiatschensky*[1]) und *A. L. Th. Moesveld*[2]), welche sich vor allen Dingen mit den Einflüssen von absichtlichen Zusätzen (Lösungsgenossen) und Verunreinigungen der Lösungen auf Kristallisationsverlauf und Habitus der erhaltenen Kristalle beschäftigten. Nach *W. Nernst* lassen sich solche Abweichungen von der Theorie dadurch verständlich machen, daß in diesen Fällen chemische Reaktionen von einer der Diffusionsgeschwindigkeit vergleichbaren Geschwindigkeit stattfinden. Eine derartige Ueberlagerung verschiedener Prozesse erschwert es dann naturgemäß sehr, wenn man die Wirkung der einzelnen Faktoren eindeutig festzustellen sucht. Besonders die älteren Untersuchungen von *R. Marc* und *W. Wenk* hatten bereits ergeben, daß für die hemmende Wirkung der Lösungsgenossen die Adsorptionsfähigkeit des wachsenden Kristalls in bezug auf den fremden Stoff maßgebend ist. Daher kommt es auch, daß bei den von *P. A. Zemiatschensky* benutzten anorganischen Lösungsgenossen selbst große Mengen kaum die Wachstumsgeschwindigkeit beeinflussen, während Farbstoffe *(R. Marc — W. Wenk)* oder Schwermetallhydroxyde *(A. L. Th. Moesveld)* selbst in kleinen Mengen stark hemmende Wirkung ausüben, ja die Kristallisation ganz zu unterbinden vermögen. Die Adsorption gehorcht der *Freundlich*'schen Formel. — Höchst interessante Versuche über die Kristallisation des Eises aus Lösungen, wo ähnliche Gesichtspunkte geltend werden, rühren von *J. H. Walton* und *A. Braun*[3]) her.

Die Oberflächenspannung der Kristalle, welche vor allem *W. Gibbs* schon 1878 bei seinen klassischen thermodynamischen Ableitungen in Rechnung gesetzt hatte, wurde in ihren Einflüssen auf die Wachstumserscheinungen von *J. J. P. Valeton*[4]) eingehend erörtert. Zwischen den Oberflächenkräften der Flüssigkeitstropfen, welche diese bekanntlich bei gegebenem Volumen in Kugelgestalt bringen, und denen der Kristalle bestehen indessen merkwürdig kontinuierliche Uebergänge in den sogenannten weichen oder „flüssigen" Kristallen [vgl. Theorie von *M. Born* und *F. Stumpf*[5])]; eine mechanische Vorstellung als Körper mit sehr kleinem Elastizitätsmodul siehe bei *B. P. Haigh*[6]). Eine Gitterstruktur besitzen die anisotropen Flüssigkeiten nicht[7]). Auch gehört hierher das Phänomen der rundlichen Wachstumsformen der Kristalle, die aus kolloiden Medien entstehen[8]). Mit der Oberflächenspannung eines Kristalls gegen die umgebende Lösung, aus der er sich bildet, hängt nach *E. T. Wherry* auch die Ausbildung von Vizinalflächen zusammen[9]).

---

[1]) P. A. Zemiatschensky, Mém. de l'acad. imp. d. Sci. Petersburg [8] **32**, Nr. 4, 1—72 (1914).

[2]) A. L. Th. Moesveld, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. **28**, 581—601 (1920).

[3]) J. H. Walton u. A. Braun, Journ. Amer. Chem. Soc. **38**, 330 (1916).

[4]) J. J. P. Valeton, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig, math.-phys. Kl. **67**, 35 ff. (1915).

[5]) M. Born u. F. Stumpf, SB. d. Berl. Akad. d. Wiss. 1916, 614—650, 1043 bis 1060.

[6]) B. P. Haigh, Engin. **106**, 414 (1918); Ref. Chem. Centr.-Bl. 1919, I, 261.

[7]) cf. E. Hückel, Phys. Zeitschr. **22**, 561 ff. (1921); F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 240—241 (1924).

[8]) Vgl. A. Mary (1913); Ref. N. Jahrb. f. Min. 1915, II, 307 f.

[9]) E. T. Wherry, Amer. Min. **9**, 45—54 (1924); Ref. N. Jahrb. 1924, II, 149—150.

Eine besonders mit den Oberflächenkräften der Kristalle verwandte Erscheinung betrifft aber die Plastizität von Kristallen wie NaCl, die neuerdings vielfach behandelt wurden, so vor allen Dingen von *K. Kleinhanns*[1]), *G. Schröder*[2]), neuerdings von *E. Hentze*[3]) und *L. Milch*[4]). Die Deformation der Steinsalzkristalle kann bei höherer Temperatur (400—500°) leicht ohne irgendwelche Störung der Kohäsion und Durchsichtigkeit erfolgen. Im Zusammenhang mit den älteren Zerreißversuchen von *A. Sella* und *W. Voigt* aber muß man annehmen, daß speziell die Außenhaut der NaCl-Kristalle sich wesentlich anders verhält als das Kristallinnere, und daß die Beschaffenheit dieser Oberflächenschicht von der Orientierung am Kristall stark abhängig ist. Einen ausgezeichneten Beweis für diese Annahme hat in der Tat die röntgenographische Studie von *F. Rinne*[5]) erbracht, insofern sich an den löffelartigen Keilflächen eines in geschmeidigem Fluß zerrissenen NaCl-Kristalls die Kombination eines ziemlich regelmäßigen Punkt-Interferenzmusters mit einer darübergelagerten Asterismusfigur ergeben hat.

Wie die künstlich gebogenen Kristalle verhalten sich auch die natürlichen gekrümmten Skelette und Trichite, welche diesen Einfluß von Oberflächenkräften erkennen lassen: an krummschaligen entsprechenden Kristallisationen von Naphthalin hat *F. Rinne*[6]) in der Tat den typischen Röntgenstrahlen-Asterismus beobachtet.

Die vektorielle Anisotropie der Wachstumsgeschwindigkeiten, die in inniger Weise mit der Kristalltracht zusammenhängt, hat *R. Groß*[7]) ausführlich erörtert. Auf Grund dieser Vorstellungen und des in vielen Fällen schon ermittelten Baues des Raumgitters bestimmter Kristallarten untersuchte *P. Niggli*[8]) die Beziehungen zwischen Strukturfaktoren und Wachstumsfaktoren. Es gelang ihm in der Tat, für NaCl, Au, ZnS die Dicke der inneren Uebergangsschichten (d. h. der Schichten, in denen koordinativ nicht gesättigte Valenzen an der Grenzform des Kristalls sich frei betätigen können) zu bestimmen und so die Flächen geringsten Wachstums zu ermitteln. Seine Schlußfolgerungen stimmen mit den Experimentalergebnissen aufs beste überein, so mit den von *W. Poppe*[9]) und *W. Schnorr*[10]) untersuchten Kristallisationen von NaCl und $NaClO_3$. Im Zusammenhang mit dieser Theorie der Wachstumsanisotropie steht auch die Löslichkeitsanisotropie (Bildung von Aetzfiguren, Aetzhügeln usw.); für die Lösungsgeschwindigkeiten gilt qualitativ ebendieselbe Geschwindigkeitsfläche wie für das Wachstum, mit denselben Richtungen der

---

[1]) K. Kleinhanns, Phys. Zeitschr. **15**, 362 (1914).
[2]) G. Schröder, Diss. (Greifswald 1914).
[3]) E. Hentze, Kal. **15**, 49—53, 90—94, 129—134, 147—157 (1921).
[4]) L. Milch, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **48**, 147—166 (1923).
[5]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 244 ff. (1924).
[6]) F. Rinne, loc. cit.
[7]) R. Groß, Abhandl. d. math.-phys. Kl. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig **35**, 137—202 (1918).
[8]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **110**, 55—80 (1920).
[9]) W. Poppe, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **38**, 363 (1914).
[10]) W. Schnorr, Zeitschr. f. Krist. **54**, 289 (1914).

Maxima und Minima. Die Unterschiede in den Wachstums- und Lösungsgeschwindigkeiten müssen also rein kinetisch durch Unterschiede der molekularen Beweglichkeit in verschiedenen Richtungen gedeutet werden [1]).

Die Abhängigkeit der Tracht der Kristalle von der Temperatur ihrer Bildung hat *G. Kalb* an verschiedenen Substanzen untersucht[2]); desgl. *H. Seifert*[3]) an künstlichen Substanzen ($NaClO_3$ usw.). Auch gibt *P. Niggli*[4]) beachtenswerte Gesichtspunkte für den Zusammenhang der Kristalltrachten mit den Paragenesen. Ueber die Abhängigkeit der Tracht von Lösungsgenossen und deren Adsorption (nach *Marc, Wherry* u. a.) s. o. Interessant ist z. B. auch das Naturvorkommen verschiedener Trachten der Korundkristalle je nach ihrer Färbung, wie diese *A. Lacroix*[5]) beschrieben hat.

Die viel erörterte Frage nach der sogenannten Kristallisationskraft hat durch schöne Versuche von *S. Taber*[6]) eine vorläufige Erledigung zugunsten der Theorie von *G. F. Becker* und *A. L. Day* (1905) gefunden [letzte Diskussionen zwischen *W. Bruhns* und *W. Mecklenburg* und *G. F. Becker* und *A. L. Day*[7])]. Es geht aus diesen Untersuchungen klar hervor, daß ein auf glatter Fläche ruhender Kristall bei seinem Wachstum nach oben eine recht beträchtliche Last zu heben vermag, auf seiner Unterseite aber keine Substanz abgelagert wird, vielmehr nur längs der vordringenden äußeren Kanten. Am besten zeigt sich dieser Vorgang, wenn man in porösem Material (etwa einer Tonzelle) Kristalle wachsen läßt (NaCl, Eis, Gips in faseriger Ausbildung[8]); ja sogar Glasgefäße lassen sich nach *S. Taber's* Versuchen durch die Kristallisationskraft sprengen[9]). Zweifellos hat so die Kristallisationskraft eine erhebliche Bedeutung bei geologischen Vorgängen, wie Ausbildung asbest-artiger faseriger Aggregate[10]) und von Erzgängen. So führt *J. Maury*[11]) selbst Salz- und Kalkdome auf derartige Wirkungen zurück. Siehe auch die Erörterungen von *R. E. Liesegang*[12]), *F. E. Sueß*[13]) und *H. Steinmetz*[14]), deren Ausführungen darin gipfeln, daß das Auftreten der Kristallisationskräfte nur bei einem Phasenwechsel gegeben sein kann, und daß dann diese mit Volumenänderungen in der kristallisierenden übersättigten Lösung oder Schmelze Hand in Hand gehen.

---

[1]) Vgl. G. Masing, Die Naturwiss. **10**, 899—908 (1922).

[2]) G. Kalb, am Eis Centr.-Bl. f. Min. 1921, 129 f.; am Feldspat loc. cit. 1924, 449—459; allgemeines darüber loc. cit. 1923, 418 ff.

[3]) H. Seifert, loc. cit. 1923, 3 ff.

[4]) P. Niggli, Lehrb. d. Min., 1. Aufl., 1920, 635; 2. Aufl., **1**, 641 (1924).

[5]) A. Lacroix, Compt. rend. **174**, 899—904 (1922).

[6]) S. Taber, Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 532—556 (1919).

[7]) W. Bruhns u. W. Mecklenburg, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 123—127, und G. F. Becker und A. L. Day, loc. cit. 1916, 337—346, 364—373.

[8]) Vgl. H. Puchner, Koll.-Zeitschr. **20**, 209—238 (1917).

[9]) Siehe a. Versuche von E. Tatum Long, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 289 bis 292 (1917).

[10]) Vgl. S. Taber, Proceed. Nat. Acad. Sci. **2**, 659—664 (1916).

[11]) J. Maury, Amer. Journ. of Sci. [4] **44**, 369 f. (1917).

[12]) R. E. Liesegang, Naturw. Rundsch. d. Chem.-Ztg. 1913.

[13]) F. E. Sueß, Naturw. Wochenschr. N. F. **15**, 697 ff. (1916).

[14]) H. Steinmetz, Centr.-Bl. f. Min. 1923, 423—427.

Ueber den Auflösungsprozeß hat *F. Rinne*[1]) beachtenswerte kinetisch-atomistische Vorstellungen entwickelt. *M. Leblanc*[2]) kam entgegen der Anwendung der *Nernst-Noyes*'schen Diffusionstheorie sowohl des Kristallwachstums und ihrer Auflösung zum Ergebnis, daß der erstere Vorgang dem nicht entsprechen könne, die Lösung aber ein Diffusionsprozeß sei. Einen unmittelbaren Vergleich mit der Theorie von *R. Groß* über die Kristallwachstums-Geschwindigkeiten und ihrer räumlichen Bezugsfläche ergab die schöne Experimentaluntersuchung von *N. Groß*[3]) über die Bezugsfläche der Lösungsgeschwindigkeiten für Gips. Wenn sich auch im großen und ganzen eine starke Modifikation der früheren Theorie als notwendig ergeben hat, so ist doch in den Hauptzügen eine Bestätigung derselben erwiesen. Die zahlreichen störenden Faktoren bei derartigen Untersuchungen erschweren naturgemäß eine genaue quantitative Erforschung dieser Fragenkomplexe ungemein. Jedenfalls bedeutet diese Arbeit einen erheblichen Fortschritt auf diesem bisher so dürftig untersuchten Gebiete (ältere Beobachtungen von *Tolloczko* an Gips, *Lebrun* an Quarz, *F. Rinne* an Gips, *Johnsen* allgemeinere quantitative Formulierungen und *R. Groß* s. o., dsgl. *G. Masing*). Vor allen Dingen hat *J. J. P. Valeton*[4]) sich durch Untersuchung der angeblichen Löslichkeitsunterschiede auf den verschiedenen Flächen von Alaun davon überzeugen können, daß solche nicht vorhanden sind; eine Verschiedenheit derselben hat keinen physikalischen Sinn. Die Wachstumsgeschwindigkeiten der verschiedenen Flächen sind dagegen nach *J. J. P. Valeton*[5]) sehr erheblich verschieden. Zahlreich sind die Untersuchungen in neuer Zeit über die Endkörper der Auflösung verschiedener Kristallarten (mit und ohne Zusatz von Lösungsgenossen); so haben *W. Schnorr*[6]) und *W. Poppe*[7]) die Kristalle von Na Cl und Na Cl O_3 in ihren verschiedensten Auflösungsstadien beobachtet, desgl. *H. Bauhans*[8]) bei Alaun und Flußspat[9]), *H. Mielke*[10]) bei Magnetit, indem sie von Kugeln dieser Kristallarten ausgingen und mit verschiedenen Aetzflüssigkeiten behandelten. Nach dem gleichen Verfahren arbeiteten bei nicht regulären Kristallen *W. Anders*[11]) am Phosgenit, *M. Eichler*[12]) am Topas, *J. Lorenz*[13]) am Apatit, *W. Krüger*[14]) am Aragonit, und *N. Groß*[15]) an Gips. In allen Fällen findet

---

[1]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 238 (1924); Das feinbaul. Wesen d. Krist., 2. u. 3. Aufl., 1922, 119.
[2]) M. Leblanc, Zeitsch. f. phys. Chem. **86**, 334 (1914).
[3]) N. Groß, Zeitschr. f. Krist. **57**, 145—180 (1922).
[4]) J. J. P. Valeton, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. Leipzig **67**, I, 1—59 (1915).
[5]) J. J. P. Valeton, Zeitschr. f. Krist. **56**, 434 (1922).
[6]) W. Schnorr, Zeitschr. f. Krist. **54**, 289 (1914).
[7]) W. Poppe, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **38**, 363 (1914).
[8]) H. Bauhans, Goldschmidt's Beitr. z. Krist. **1**, 11 (1914).
[9]) H. Bauhans, loc. cit. 219.
[10]) H. Mielke, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. **74**, 319 (1922).
[11]) W. Anders, loc. cit. **73**, 117 (1921).
[12]) M. Eichler, loc. cit. 232.
[13]) J. Lorenz, loc. cit. 249.
[14]) W. Krüger, loc. cit. **74**, 253 (1922).
[15]) N. Groß, Zeitschr. f. Krist. **57**, 145 (1922).

man die Abhängigkeit des Auflösungsvorgangs vom physikalischen Symmetriecharakter des Kristalls[1]).

Ueber den so merkwürdigen kristallographisch-chemischen Abbau mancher Kristalle (z. B. der Zeolithe), den *F. Rinne* schon früher ausführlich bearbeitet hatte[2]), gibt der gleiche Autor neuerdings[3]) außerordentlich wichtige Einblicke in die strukturellen Aenderungen, die bei solchen Prozessen einsetzen, und die sich röntgenographisch verfolgen lassen. Eine fortschreitende Entwässerung macht z. B. den Heulandit und Metaheulandit immer ähnlicher dem Sanidin in seiner Feinstruktur.

Das Calciumkarbonat.

Eine wichtige Frage ist die nach den Modifikationen des Calciumkarbonates und deren Stabilität. Hier begegnen sich ältere Anschauungen mit den neueren Versuchen vor allen Dingen von *J. Johnston*, *H. E. Merwin* und *E. D. Williamson*[4]), nach welchen außer dem gewöhnlichen Calcit und dem Aragonit nur noch eine μ-$CaCO_3$-Form und amorphes Karbonat vorkommen sollen (abgesehen von einem Hydrat $CaCO_3 . 6H_2O$). Die von *Vater* dargestellte präcipitierte sphärolithische Form des $CaCO_3$, welche gemeinhin nach diesem Autor kurz als „Vaterit" bezeichnet wird (obwohl sie in der Natur noch nicht nachgewiesen wurde) soll nach den amerikanischen Forschern nichts anderes sein als Calcit in besonders poröser Form. Gegen diese Anschauung hat sich *K. Spangenberg*[5]) in sehr entschiedener Weise gewandt und neuere Versuche mitgeteilt, nach denen die Umwandlung von Vaterit in Aragonit und Calcit (in wässeriger Lösung) sich zweifelsfrei ergeben hat. *K. Spangenberg* bezeichnet dagegen das μ-$CaCO_3$ von *J. Johnston* c. s. als zweifelhaft. Die Frage wurde zunächst röntgenographisch von *F. Rinne* gelöst[6]) durch den einwandfreien Nachweis selbständiger Linien im Röntgenspektrogramm des Vaterits, unabhängig von denen des Aragonits und Calcits, während der sogenannte Lublinit als mit Calcit identisch gefunden wurde, wie das schon *E. Quercigh*[7]) vermutet hatte[8]). Eine ähnliche Bestimmung des Vaterits als verschieden von Calcit und Aragonit — auf Grund von *Debye-Scherrer*-Diagrammen — gab *F. Heide*[9]), dem es gelang, den Vaterit als weniger stabil als Aragonit

---

[1]) J. J. P. Valeton, loc. cit. **59**, 165 (1924).

[2]) F. Rinne, Zusammenstellung bis 1913 in den Fortschr. d. Min. **3**, 159 (1913).

[3]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 237 (1924).

[4]) J. Johnston, H. E. Merwin u. E. D. Williamson, Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 473—512 (1916).

[5]) K. Spangenberg, Zeitschr. f. Krist. **56**, 432—434 (1922).

[6]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 66 f. (1924).

[7]) E. Quercigh, Rivista Min. Christ. Ital. **41**, 35—94 (1916).

[8]) Vgl. auch O. Mügge, Centr.-Bl. f. Min. 1914, 673; und dagegen R. Lang, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **38**, 121 (1914); Centr.-Bl. f. Min. 1915, 298.

[9]) F. Heide, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 641—651.

und Calcit nachzuweisen (mit Hilfe von Umfüllungsversuchen mit Kobaltsalzlösungen). Aus dem hexagonalen Gitter des Vaterits wird die Dichte zu 2,645 berechnet; er ist wasserfrei kristallisiert. Damit ergibt sich freilich das neue Problem, wie sich Vaterit zu dem μ-$CaCO_3$ der amerikanischen Forscher verhält, welches ebenfalls hexagonal kristallisiert, aber nicht wie der Vaterit in Sphärolithen, sondern in Tafeln und Blättchen von einachsig-positivem Charakter. Die genannten Forscher erwähnen ausdrücklich, daß auch *Vater* bereits linsenförmige Aggregate von μ-$CaCO_3$ beschrieben haben soll.

Hinsichtlich der großen Zahl von Einzelbeobachtungen in der Arbeit von *J. Johnston* c. s. sei auf das Original verwiesen; doch ist die Beobachtung von erheblichem Interesse, daß die Abscheidung des kohlensauren Kalks aus Meerwasser und Bittersalzquellen besonders durch die Einflüsse der SO_4''-Ionen in Gestalt von Mischkristallen von $CaCO_3$ mit 1,2 bis 1,4 Proz. $CaSO_4$ erfolgt, die bei ihrer Umwandlung in die reinen Komponenten Calcit und Anhydrit zerfallen.

Amorphes Calciumkarbonat vermutet *O. Mügge* (s. o.) im Ktypeit (nach *A. Lacroix*); zweifellos spielt diese instabilste $CaCO_3$-Phase, in kolloidaler Form ausgefällt, bei der Diagenese der Sedimente eine wichtige Rolle [1]).

Die bisher vorhandenen Daten über die Löslichkeit des Calciumkarbonats sind von *J. Johnston* und *E. D. Williamson*[2]) zusammengestellt; s. a. *R. Wells*[3]). Zu einer genauen Definition der Löslichkeit ist die Angabe der Konzentration der freien Kohlensäure oder des Partialdruckes derselben in der über der Lösung stehenden Atmosphäre erforderlich, da ternäre Gleichgewichte des Systems $CaO-CO_2-H_2O$ vorliegen. Zwischen 0 und 30° wird dann das Löslichkeitsprodukt des Calcits $(Ca^{\cdot\cdot}).(CO_3'')$ dargestellt durch die Gleichung $\log K = 8{,}087 - 0{,}006\ t$. Siehe auch *J. Johnston* und *E. D. Williamson*[4]) über die anorganische Abscheidung des Calciumkarbonats im Meerwasser. Ueber die Löslichkeit von $CaCO_3$ unter höheren CO_2-Drucken und die Haltbarkeit des Bikarbonats in solchen Lösungen siehe die schon oben (S. 110) erwähnte Arbeit von *O. Haehnel*[5]).

Die Stabilitätsverhältnisse des Calcits zum Aragonit hat prinzipiell bereits 1901 *O. Mügge* geklärt; nach *R. B. Sosman, J. C. Hostetter* und *H. E. Merwin*[6]) ist die Geschwindigkeit der Umwandlung Aragonit $\longrightarrow$ Calcit bei 400° nur sehr gering, wird aber bei 425° bereits sehr deutlich bemerkbar. Eine Orientierung der Aragonitteilchen bei Berührung mit dem neugebildeten Calcit übt keinen Einfluß auf dessen Orientierung aus. Den starken Volumeffekt der Umwandlung (8,35 Proz.) betrachtet

---

[1]) Vgl. O. M. Reis, Centr.-Bl. f. Min. 1920, 237—243.

[2]) J. Johnston u. E. D. Williamson, Journ. Amer. Chem. Soc. **37**, 2001 (1915) und **38**, 975—983 (1916).

[3]) R. Wells, Journ. Wash. Acad. Sci. **5**, 617—622 (1915).

[4]) J. Johnston u. E. D. Williamson, Journ. of Geol. **24**, 729—750 (1916).

[5]) O. Haehnel, Journ. f. prakt. Chem. **107**, 165—176 (1924).

[6]) R. B. Sosman, J. C. Hostetter u. H. E. Merwin, Journ. Wash. Acad. Sci. **5**, 563—569 (1915).

W. J. Tarr[1]) als Ursache der merkwürdigen Tutenmergel- (cone in cone-) Strukturen. Versuche der genannten Forscher, die Dampfdrucke von Aragonit und Calcit bei 400° zu messen, führten zu keinem Ergebnis.

Ob ein Stabilitätsfeld des Aragonits unterhalb 0° und bei hohen Drucken besteht, war noch eine offene Frage geblieben; aus den Untersuchungen von *R. Wells* (s. o.) konnte man immerhin extrapolieren, daß bei etwa $-100°$ die Löslichkeiten von Aragonit und Calcit einander gleich werden, dort also ein enantiotroper Umwandlungspunkt auftrete. Die Affinität der Reaktion Aragonit $\rightarrow$ Calcit wurde nach dem *Nernst*'schen Wärmetheorem in der Tat neuerdings von *H. L. J. Bäckström* bestimmt[2]). An reinen synthetischen Präparaten von Calcit und Aragonit wurde eine sorgfältige Messung der Umwandlungswärme (aus der Differenz der Lösungswärmen) durchgeführt und diese bei 30° zu -670 ± 100 cal gefunden. Der Umwandlungspunkt liegt nach dieser Berechnung bei $-43 \pm 5°$ C; und es ergibt sich demnach, daß der natürliche Aragonit (außer in den allerkältesten Erdgegenden) stets eine metastabile Bildung darstellt. Aus der großen Differenz der Dichten und der kleinen Umwandlungswärme ergibt die Berechnung eine starke Abhängigkeit der Umwandlungstemperatur vom Druck $\left(\frac{dt}{dp} = + \frac{1°}{40}\right)$.

Wichtige Messungen der spezifischen Wärmen von Calcit und Aragonit auch bei ganz tiefen Temperaturen gaben *W. Nernst* und *F. Schwers*[3]) sowie *P. Günther*[4]). Sehr bemerkenswert ist der wesentlich langsamere Anstieg der Molekularwärme des Aragonits.

Von erheblichem Interesse ist die Angabe von *F. H. Smyth* und *L. H. Adams*[5]), daß die von *H. E. Boeke* (1912) angegebene polymorphe Umwandlung des Calcits in eine α-Modifikation bei 970° (und entsprechendem höheren CO_2-Druck, s. u.) nicht den Tatsachen entspricht. *W. Eitel* hatte diese Umwandlung vordem ebenfalls zu erkennen geglaubt [im System Nephelin-Calcit[6])], fand aber (noch vor der Veröffentlichung von *F. H. Smyth* und *L. H. Adams*) im System Na_2CO_3—$CaCO_3$ nur einfache Kristallisationen des Calcits in der gewöhnlichen Form. Die von *Boeke* angegebene α-Modifikation von $CaCO_3$ ist also zu streichen[7]).

---

[1]) W. J. Tarr, Amer. Journ. of Sci. [5] **4**, 199—213 (1922).

[2]) H. L. J. Bäckström, Zeitschr. f. phys. Chem. **97**, 179—228 (1921); Medd. Vetensk. Akad. Nobelinst. **4**, Nr. 11 (1922).

[3]) W. Nernst u. F. Schwers, SB. d. Berliner Akad. d. Wiss. 1914, 366.

[4]) P. Günther, Diss. (Berlin 1917); Ann. d. Phys. [4] **51**, 828—846 (1917).

[5]) F. H. Smyth und L. H. Adams, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 1167 bis 1184 (1923).

[6]) W. Eitel, N. Jahrb. f. Min. 1922, II, 45.

[7]) W. Eitel, Preisschr. d. Jablonowski'schen Ges. d. Wiss. 1925.

Dolomit.

Seit den synthetischen Versuchen von *K. Spangenberg* über die Darstellung des Dolomits hat eine neuere sorgfältige Nachprüfung durch *G. Adolf*, *M. Pulfrich* und *G. Linck*[1]) dessen Ergebnisse bestätigt und weiter ausgebaut. *M. Pulfrich* (in seiner Dissertation Jena 1921) verwendete Ammoniumsalze als Lösungsgenossen in den Ausgangsgemengen der Dolomitdarstellung.

Durch die röntgenographische Bestimmung der Struktur des Dolomits von *R. W. G. Wyckoff*[2]) ist dessen Natur als Doppelsalz festgestellt.

Daß der Dolomit als solcher (d. h. kongruent) sich in Wasser löst, wird durch die Beobachtungen von *F. Tucan*[3]) sehr wahrscheinlich gemacht. Die Einstellung der Gleichgewichte ist freilich immer eine außerordentlich langsame und infolgedessen häufig unvollkommene. Die Möglichkeit, daß der Dolomit im System $MgCO_3$—$CaCO_3$—H_2O ein inkongruentes Doppelsalz darstelle, setzt andererseits *R. C. Wallace* voraus[4]). Daß sowohl der Fall der Kongruenz wie der der Inkongruenz für Dolomit gelten könne, hat neuerdings *O. Bär*[5]) gezeigt (s. u.). Eine physikalisch-chemische Untersuchung des Dolomits auf Grund kalorimetrischer Messungen (spezifische Wärme und Lösungswärme in HCl) gab *A. E. Mitchell*[6]); eine Nachprüfung der Daten wäre erforderlich.

Die Entstehung des Dolomits in der Natur ist immer noch nicht in allen Teilen geklärt. An neueren geologischen Forschungen über sein Auftreten sei hier genannt die Arbeit von *F. M. Behr*[7]), die zusammenfassende Arbeit von *H. Leitmeier*[8]), die Studie von *E. W. Skeats*[9]) und *F. M. van Tuyl*[10]) sowie von *F. W. Clarke* und *W. C. Wheeler*[11]). Ueber den Einfluß kolloider Dispersoide auf die Dolomitbildung siehe *C. Götz*[12]). Vor allen Dingen wichtig sind die Beobachtungen von *E. Steidtmann*[13]), aus denen sich klar ergibt, wie selten in der Natur gleichzeitig Calcit und Dolomit ausfallen, wie häufig aber eine spätere Anreicherung des Dolomits auf Kosten des Calcits stattfindet. Stets findet dieser Prozeß nach *Steidtmann* in ziemlich tiefem Meereswasserstande statt, da nur bei einem solchen Eisenoxydul-Verbindungen beständig sein können und reduzierende Wirkungen einsetzen, die doch bei der Dolomitbildung genetisch von Bedeutung

---

[1]) G. Adolf, M. Pulfrich u. G. Linck, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 545—558.
[2]) R. W. G. Wyckoff, Amer. Journ. of Sci. [5] 8, 447—461 (1924).
[3]) F. Tucan, Anz. d. böhm. Naturf. u. Aerztetags 1914, 328.
[4]) R. C. Wallace, Compt. rend. Congr. geol. Toronto 1913, 875—884; Ref. N. Jahrb. f. Min. 1921, II, 60.
[5]) O. Bär, Diss. (Frankfurt a. M. 1924).
[6]) A. E. Mitchell, Journ. Chem. Soc. London **123**, 1055—1069 (1923).
[7]) F. M. Behr, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **67**, 1—46 (1915).
[8]) H. Leitmeier, Tscherm. Min. Mitt. **33**, 532—547 (1915).
[9]) E. W. Skeats, Amer. Journ. of Sci. [4] **45**, 185—200 (1918).
[10]) F. M. van Tuyl, loc. cit. **42**, 249—260 (1916).
[11]) F. W. Clarke u. W. C. Wheeler, Proc. Nat. Acad. Sci. Wash. 1915, 552 bis 556.
[12]) C. Götz, Geol. Rundsch. **12**, 131—150 (1921).
[13]) E. Steidtmann, Bull. Geol. Soc. of Amer. **28**, 431—450 (1917).

erscheinen. Die Dolomitisierung stellt sich also, wie auch die obengenannten Forscher erkannten, als ein metasomatischer Verdrängungsprozeß dar. Nach *K. Spangenberg's* und *M. Pulfrich's* Versuchen liegt es nahe, Magnesiumbikarbonatlösungen als Ursache eines solchen zu betrachten, welche (bei Gegenwart von freier CO_2 und von NH_4-Salzen) unter mäßigem Ueberdruck und mäßiger Erhöhung der Temperatur die ursprünglichen Kalksedimente durchtränkten. Eine wichtige Stütze für diese Theorie der metasomatischen Bildung der Dolomitgesteine ist, daß sie in älteren geologischen Formationen häufiger auftreten, in jüngeren dagegen seltener sind.

Die wichtigen Bohrungen auf den Korallenfelsen von Funafuti ergaben nach *E. W. Skeats* eine Bestätigung der *Darwin*'schen Theorie der Entstehung der Atolle und Korallenriffe; zugleich deutet *E. W. Skeats* eine große Zahl von Experimentalbefunden über die relative Löslichkeit von $CaCO_3$ und $MgCO_3$ unter verschiedenen CO_2-Drucken auf eine Bildung des Dolomits in den unteren Teilen der Korallenriffe, also in nicht allzu großen Meerestiefen, da, wo die Löslichkeit beider Karbonate gleich groß werden soll. In der Tat fand neuerdings auch *O. Bär*[1]) die Löslichkeit von $CaCO_3$ bei hohen CO_2-Drucken größer als die von $MgCO_3$, umgekehrt bei geringen CO_2-Drucken; der Schnittpunkt der Löslichkeitskurven entspräche dem von *E. W. Skeats* definierten Grenzpunkte der Dolomitbildung. Die kongruente Löslichkeit des Dolomits gilt nach *O. Bär* für erwiesen für kleine CO_2-Mengen in der Gleichgewichtslösung des Systems $CaCO_3$—$MgCO_3$—H_2O; bei zunehmender CO_2-Menge scheint sich der Gleichgewichtspunkt so zu verschieben, daß er in die inkongruente Beziehung eintritt. Bei geringen CO_2-Mengen kann daher Dolomit aus natürlichen Lösungen wohl direkt kristallisieren. Die Ergebnisse von *F. M. van Tuyl's* Untersuchungen (s. o.) über die direkte Einwirkung von $MgCl_2$-Lösungen auf Aragonitpulver sind negativ; selbst nach jahrelangem Stehen wurde keine Dolomitbildung beobachtet. In der Natur werden erfahrungsgemäß die feinkörnigen Korallen zuerst metasomatisch in Dolomitgestein umgesetzt, dann die aus Aragonit bestehenden Organismenreste, zuletzt der Calcit.

Mischkristalle der Karbonate von Ca, Mg, Fe, Mn.

Noch immer herrscht über die Bildung des Magnesits keinerlei Klarheit; experimentelle Untersuchungen stehen noch aus. Vgl. die Diskussion zwischen *H. Leitmeier*[2]) und *K. A. Redlich*[3]).

Nach den Analysen von *H. W. Foote* und *W. M. Bradley*[4]) vermag der Calcit nur 1 Proz. $MgCO_3$ in fester Lösung aufzunehmen.

Auffallend ist die verschiedene Auffassung der Spezies Ankerit, welche z. T. als Mischkristalle von Dolomit, $CaCO_3$, $FeCO_3$ und $CaCO_3$—$MnCO_3$,

[1]) O. Bär, Diss. (Frankfurt a. M. 1924).
[2]) H. Leitmeier, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **40**, 655—700 (1916); Centr.-Bl. f. Min. 1917, 446—454.
[3]) K. A. Redlich, loc. cit. 1917, 52—54; Fortschr. d. Min. **4**, 10 ff. (1914).
[4]) H. W. Foote u. W. M. Bradley, Amer. Journ. of Sci. [4] **37**, 339 (1914).

z. T.[1]) als die reine Verbindung $CaCO_3 . FeCO_3$, z. T.[2]) als $2\,CaCO_3 . MgCO_3 . FeCO_3$ verstanden wird.

Die Salzlagerstätten.

Ueber die geologischen Bildungsbedingungen der Kalisalzlagerstätten von Mitteldeutschland siehe neuerdings *M. Rózsa*[3]) sowie *O. Krull*[4]). Ueber die spanischen Kalisalzvorkommen von Suria und Cardona in der Provinz Barcelona siehe *C. Rubio* und *A. Marin*[5]), ferner *E. Mackay-Herniot*[6]), *A. Born*[7]) und *H. S. Gale*[8]). Glaserit wurde von *H. S. Gale*[9]) vom Pinto dos Salar in Tarapacá (Chile) beobachtet. Die in Erythrea gefundenen Kalisalzablagerungen sind nach *M. Giua*[10]) fast reiner Sylvin; die in der Umgebung auftretenden Quellen führen noch $MgCl_2$ und $MgBr_2$.

Eingehende Einzelbeobachtungen über die deutschen Kalisalzlagerstätten siehe bei *E. Erdmann*[11]); neuere Angaben bei *F. Frech*[12]), besonders aber in der Monographie von *E. Jänecke*[13]) und dessen Einzelaufsätzen[14]). Ueber die elsässischen Kalisalzlager siehe u. a. *M. Rózsa*[15]). Holländische Funde von Kalisalzen siehe bei *C. P. Engel*[16]). Im großen ganzen ist das Gebiet der genetischen Erforschung der Kalisalzlagerstätten wohl abgeschlossen.

Hauptsächlich die Nachprüfung der älteren Forschungen von *van't Hoff* (1900—1910) durch *J. D'Ans*[17]) verdient als wichtigste neuere Leistung genannt zu werden, ergab sich doch in vielen Einzelheiten eine Bestätigung, in anderen eine Richtigstellung der älteren Angaben über die Kristallisationsgleichgewichte der Kalisalzlösungen. Die großangelegte Arbeit von *J. D'Ans* bediente sich im wesentlichen der gleichen Methoden wie die von *van't Hoff*, also vor allen Dingen der Löslichkeitsbestimmung, des Dilatometer- und Tensimeterversuchs. Eine vielleicht wesentliche Verbesserung des

---

[1]) so bei Redlich, Fortschr. d. Min. **4**, 40 (1914).
[2]) so bei M. Delgrosso, Atti R. Accad. d. Sci. Torino **49**, 1106 (1914).
[3]) M. Rózsa, Ueber den organischen Aufbau der Staßfurter Salzablagerung (Berlin 1914); Centr.-Bl. f. Min. 1917, 35—41.
[4]) O. Krull, Kali **13**, 277—281, 296—304, 317—322 (1919).
[5]) C. Rubio u. A. Marin, Bol. del Inst. Geol. de Esp. 1914.
[6]) E. Mackay-Herniot, Min. Engin. Journ. **105**, 643 f. (1918).
[7]) A. Born, Zeitschr. f. prakt. Geol. **25**, 154—163 (1917).
[8]) H. S. Gale, U. S. Geol. Surv. Bull. **715**, 1—16 (1921).
[9]) H. S. Gale, Min. Eng. Journ. **105**, 674 ff. (1918).
[10]) M. Giua, Gazz. chim. ital. **48**, II, 1—8 (1918).
[11]) E. Erdmann, Jahrb. d. Halleschen Verbd. z. Erforschg. d. mitteldeutsch. Bodensch. **1—3**.
[12]) F. Frech, Die Naturwiss. **5**, 229—232, 253—257 (1917).
[13]) E. Jänecke, Die Entstehg. d. deutsch. Kalisalzlagerst. (Braunschweig), 1. Aufl. 1915; 2. Aufl. 1923.
[14]) E. Jänecke, Die Naturwiss. **7**, 619—625, 636—639 (1919).
[15]) M. Rózsa, Zeitschr. f. anorg. Chem. **93**, 137—150 (1915); Kali **14**, 61—70 (1920).
[16]) C. P. Engel, Zeitschr. f. prakt. Geol. **25**, 173 f. (1917).
[17]) J. D'Ans, Kali **9**, Heft 10—17 (1915).

älteren Differential-Tensimeters von *Bremer-Frowein* bedeutet die von *Cl. D. Carpenter* und *E. R. Jette*[1]) benutzte Konstruktion.

Eine große Anzahl genauer Angaben von kryohydratischen Punkten verschiedener Salzsysteme enthält die Arbeit von *W. H. Rodebush*[2]). Präzisionsmessungen über die Dichten der NaCl-Lösungen für $t = 25^0$ C gab *R. E. Hall*[3]).

E. Jänecke[4]) macht im einzelnen bemerkenswerte Angaben über die Schmelzung des Carnallits unter Abscheidung von Sylvin und Bildung einer $MgCl_2$-reichen Schmelzlösung.

Das von *Meyerhoffer* und *Saunders* beobachtete reziproke System $(Na_2^{\cdot\cdot}, K_2^{\cdot\cdot})$—$(Cl_2'', SO_4'')$ wurde von *J. D'Ans* bestätigt; s. a. *W. C. Blasdale*[5]). Im System $(K_2^{\cdot\cdot}, Mg^{\cdot\cdot})$—$(Cl_2'', SO_4'')$ hat sich nach *J. D'Ans* insofern eine Abweichung gegen die frühere Untersuchung ergeben, als für Kainit in NaCl-freien Lösungen eine untere Stabilitätsgrenze bei 0^0 gefunden wurde, während eine obere bei 85^0 gelegen ist. *D'Ans* hat dieses System für $t = 0^0$, 25^0, 55^0 und 85^0 durchgearbeitet. Speziell über das System Na_2SO_4—$MgSO_4$—H_2O unter Anwendung der Restmethode arbeiteten *E. H. Archibald* und *W. A. Gale*[6]).

Ueber die Darstellung der reziproken Salzgleichgewichte in einem Netz homogener Dreieckskoordinaten siehe die Ausführungen bei *E. Jänecke* in dessen Monographie[7]); derselbe[8]) gibt eine anschauliche Darstellung der Kristallisationserscheinungen in einem Raummodell für $t = 25^0$. Höchst beachtenswert sind auch seine Erörterungen über die doppeltternären Gleichgewichte, welche er in einer zusammenfassenden Arbeit gemacht hat[9]), in denen auch die *J. D'Ans*'schen Angaben für $t = 0^0$ und 55^0 mitberücksichtigt wurden und so alle dazwischen liegenden Gleichgewichte sich interpolieren ließen. Mit dieser Zusammenfassung dürften in der Tat die Gleichgewichtsuntersuchungen, welche *van't Hoff* begann, zum vorläufigen Abschluß gekommen sein. Ergänzend sei auf die Untersuchung von *N. S. Kurnakow* und *S. F. Zemčužny*[10]) über das System NaCl—$MgSO_4$—H_2O hingewiesen.

Besonders eingehend wurde auch in neuerer Zeit das Problem der Gleichgewichte zwischen Anhydrit und Gips mit ihren Lösungen untersucht, welches von *van't Hoff* c. s. schon prinzipiell geklärt worden war.

---

[1]) Cl. D. Carpenter u. E. R. Jette, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 578—590 (1923).

[2]) W. H. Rodebush, loc. cit. **40**, 1204—1213 (1918).

[3]) R. E. Hall, Journ. Wash. Acad. Sci. **14**, 167—173 (1924).

[4]) E. Jänecke, Zeitschr. Kali **11**, 10—13 (1917).

[5]) W. C. Blasdale, Journ. Ind. and Eng. Chem. **10**, 344 (1918).

[6]) E. H. Archibald u. W. A. Gale, Journ. Amer. Chem. Soc. **46**, 1760 bis 1771 (1924).

[7]) E. Jänecke, 1915, 29—41.

[8]) E. Jänecke, loc. cit. 18.

[9]) E. Jänecke, Zeitschr. f. anorg. Chem. **100**, 176ff. (1917); sowie Kali **14**, 140—147, 158—165, 176—184 (1920); vgl. die Darstellungen in Zeitschr. f. anorg. Chem. **100**, 161—236 (1917); **102**, 41—65 (1918); **103**, 1—54 (1918).

[10]) N. S. Kurnakow u. S. F. Zemčužny, Zeitschr. f. anorg. Chem. **140**, 149 bis 182 (1924).

So fand *E. Jänecke*[1]) die inkongruente Schmelzung des Gipses zu Halbhydrat und einer äußerst verdünnten Lösung bei 128—130°. So stellten *C. Gaudefroy*[2]) und *L. Chassevent*[3]) insbesondere die Stabilitätsverhältnisse von Gips und Anhydrit erneut fest (übereinstimmend mit *van't Hoff's* Angaben), und besonders die Verhältnisse der Hydratation von Anhydrit, Halbhydrat und Estrichgips erfuhren eine neue Bearbeitung durch *B. Neumann*[4]) und *A. Moye*[5]) bzw. *Budnikoff* und *Syrkin*[6]) sowie *Jolibois* und *L. Chassevent*[7]) (vgl. Fig. 47). Höchst beachtenswert sind in diesem

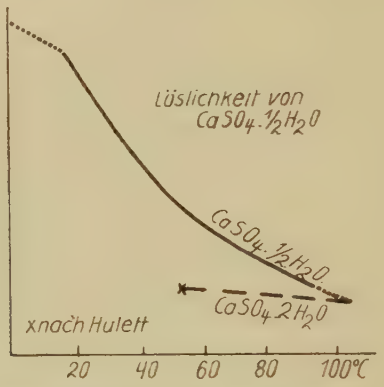


Fig. 47 Löslichkeitskurve des Calciumsulfat-Halbhydrates (nach Jolibois und Chassevent).

Zusammenhang auch die mikroskopischen Studien von *M. von Glasenapp*[8]) und die sich ergebenden kolloidchemischen Prozesse beim Abbinden des Gipses (s. o.).

Ueber die Bildung der sogenannten „Jahresringe" im Anhydrit-haltigen Teil der Kalisalzlager siehe *J. D'Ans*[9]).

Beachtenswert sind die ganz allgemeinen Angaben von *P. Niggli*[10]) über die Volumbeziehungen bei der Hydratation des Anhydrits und die Schlangengipsbildung.

Die Metamorphose der Salzgesteine ist durch die Theorie von *E. Jänecke* (in seiner Monographie) weitgehend geklärt worden, sowie die Abweichungen des Naturvorkommens nach Menge und Art der Schichten

---

[1]) E. Jänecke, Zeitschr. f. phys. Chem. **90**, 265—279 (1915); Kali **10**, 371 (1916).
[2]) C. Gaudefroy, Compt. rend. **158**, 2006 (1914); **159**, 263 (1914).
[3]) L. Chassevent, loc. cit. **179**, 44—46 (1924).
[4]) B. Neumann, Zeitschr. f. angew. Chem. 1921, 441.
[5]) A. Moye, loc. cit. 498.
[6]) Budnikoff u. Syrkin, Zeitschr. f. anorg. Chem. **125**, 257—268 (1922).
[7]) Jolibois u. L. Chassevent, Compt. rend. **177**, 113—116 (1923).
[8]) M. von Glasenapp, Zeitschr. f. anorg. Chem. **130**, 246—252 (1923).
[9]) J. D'Ans, Kali **9**, Heft 16 (1915).
[10]) P. Niggli, im Werke Gesteinsmetamorphose 1924, I, 118ff.

von den Anforderungen der Gleichgewichte endgültig verständlich gemacht. Nach der Theorie *E. Jänecke's* (vgl. Fig. 48) hat im weitgehenden Maße ein Absinken der primären Salzlagerstätten in größere Erdtiefen stattgefunden, bei dem sich durch die erhöhte Temperatur ein Schmelzen der kristallwasserhaltigen Salze einstellte. Hierdurch wurden weitgehende Umsetzungsreaktionen

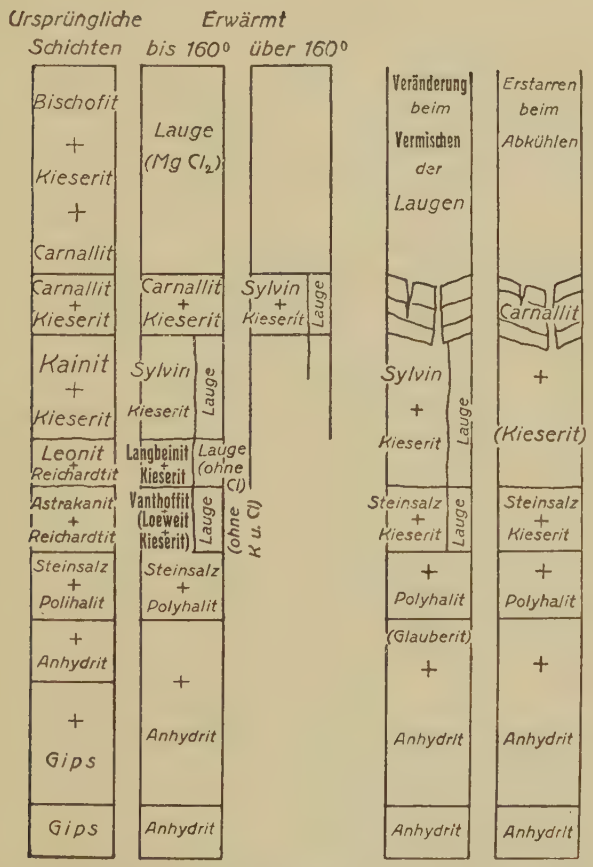


Fig. 48 Das primäre Profil der Kalisalz-Lagerstätten und ihre metamorphen Veränderungen (nach Jänecke).

und Verschiebungen der Paragenesen bedingt, welche noch weiterhin durch ein teilweises Abpressen der Schmelzlösungen kompliziert wurden. Ein nachfolgendes Wiederaufsteigen der Salzgebirge in geringere Tiefen machte infolgedessen auch nur einen Teil der stattgefundenen Umbildungsprozesse rückgängig (retrograde Metamorphose, „Retromorphose" nach *F. Rinne*). Dieser geologische Vorgang des Wiederaufsteigens oder des „Salzauftriebs"

[nach *Sv. Arrhenius* und *R. Lachmann*[1])] ist am Auftreten von Salzeccemen leicht zu erkennen[2]); zur Bildung von Salzhüten kam es an den Stellen, wo die Salzecceme bis soweit an die Oberfläche drangen, daß deszendente Tagewässer nachträglich die Paragenesen unter Bildung bestimmter Neukristallisationen verändern konnten. Ueber die geologische Seite der einschlägigen Fragen siehe *E. Seidl*[3]). Besonders über die Bildung des Hartsalzes, wo insbesondere auch Druckfaktoren in Frage kommen und auf die Plastizität der Salzschichten hingewiesen werden muß, siehe *F. Rinne*[4]); über die Plastizität im Zusammenhang mit den Erscheinungen des Fließdruckes von NaCl, KCl, Carnallit, Bischofit siehe später die vortrefflichen Untersuchungen von *O. Mügge* und *A. Geller*[5]).

Einen wesentlich anderen Standpunkt in Einzelheiten nimmt *M. Rózsa* ein, weist er doch auf die vorzügliche Rolle zirkulierender Laugen im Salzgebirge hin. Es seien genannt seine Anschauungen über posthume Umwandlungen im Salzgebirge[6]), die quantitative Zusammensetzung der Salzlagerstätten[7]), über die Hartsalzbildung[8]), die Umwandlungen in den Salzen, mit oder ohne Zwischenphasen[9]), über die entsprechenden Erscheinungen in den elsässischen Kalisalzen[10]), die Hydrothermalmetamorphose der Kalisalze im allgemeinen[11]), speziell des Bischofits, Astrakanits und Kainits[12]), die Annahme einer etwaigen primären Bischofitschicht[13]) — siehe dazu die Erwiderung von *E. Jänecke*[14]) —, primären und sekundären Polyhalit[15]). Ferner seien genannt seine Arbeiten über die sekundären Kainitgesteine[16]), den anhydritischen Sylvin-Halit[17]), die Kieseritregion[18]) und die Uebersicht seiner Anschauungen[19]).

Den Vergleich der Salzgesteine in ihren Metamorphosen mit den Silikatgesteinen führte *F. Rinne* wiederholt durch[20]). Eine ausführliche Darstellung auch von diesem Standpunkt mit Betonung der verschiedenen Tiefenzonen, welche in beiden Fällen zu erkennen sind, gab *P. Niggli*[21]).

---

[1]) Sv. Arrhenius u. R. Lachmann, siehe zuletzt Centr.-Bl. f. Min. 1917, 414—426.
[2]) Vgl. F. Rinne, loc. cit. 1924, 292f.
[3]) E. Seidl, Arch. f. Lagerstättenforsch. 1914, Heft 10, 81ff.
[4]) F. Rinne, N. Jahrb. f. Min. 1916, I, 1—9.
[5]) O. Mügge u. A. Geller, Zeitschr. f. Krist. **60**, 414—472 (1924).
[6]) M. Rózsa, Zeitschr. f. anorg. Chem. **86**, 163—168 (1914); **88**, 321—332 (1914).
[7]) M. Rózsa, loc. cit. **90**, 377—385 (1914).
[8]) M. Rózsa, loc. cit. **91**, 299—319 (1915).
[9]) M. Rózsa, loc. cit. **92**, 297—300 (1915).
[10]) M. Rózsa, loc. cit. **93**, 137—150 (1915).
[11]) M. Rózsa, loc. cit. **94**, 92—94 (1916).
[12]) M. Rózsa, loc. cit. **97**, 41—55 (1916).
[13]) M. Rózsa, Zeitschr. f. anorg. Chem. **101**, 216—284 (1917).
[14]) E. Jänecke, loc. cit. **99**, 1—4 (1917).
[15]) M. Rózsa, loc. cit. **105**, 167—170 (1919).
[16]) M. Rózsa, Földt. Közl. 1915, 293—310; Centr.-Bl. f. Min. 1916, 505—514.
[17]) M. Rózsa, loc. cit. 1917, 490—492.
[18]) M. Rózsa, loc. cit. 1918, 121—131.
[19]) M. Rózsa, loc. cit. 361—367; Kali **12**, 383 (1918).
[20]) F. Rinne, Jahresber. d. Nieders. Geol. Ver. **7**, 252—269 (1914); Fortschr. d. Min. **6**, 101—136 (1920); Centr.-Bl. f. Min. 1924, 290—300.
[21]) P. Niggli, Gesteinsmetamorphose 1924, I, 137—150.

Vor allen Dingen förderten diese Erkenntnisse wohl die systematischen Schmelzversuche von *E. Jänecke*[1]), und neuerdings die ausgezeichneten Studien von *O. Mügge* und *A. Geller*[2]). Vor allen Dingen wurden die Einflüsse der Temperatur durch Aufnahme der Fließdrucke eingehend festgestellt.

Ueber die Tachhydritbildung in sekundären Salzen siehe die Abhandlung von *P. Kling* und *K. Brunhöver*[3]), welche *E. Jänecke*[4]) in Einzelheiten richtigstellte.

Von den Nebengemengteilen der Salzgesteine ist der Boracit in neuerer Zeit mehrfach untersucht worden; *F. Rinne*[5]) gelang es, die dichten Staßfurtitknollen als identisch mit Boracit auf röntgenographischem Wege zu erweisen. Siehe über diese Knollen auch *K. Brunhöver*[6]) und *M. Rózsa*[7]). Ueber die Eignung des Umwandlungspunktes des Boracits bei 265° für das geologische Thermometer siehe *O. Mügge*[8]); über einen eisenhaltigen Boracit *F. Rinne*[9]).

Zur Entstehung von Borax- und Tinkal-Ablagerungen ist die Arbeit von *U. Sborgi* und *F. Meccacci*[10]) von Wichtigkeit, welche das System Na_2O—B_2O_3—H_2O allgemein behandelt. Ueber den lakustren Pandermit siehe *G. Linck*[11]) sowie *W. F. Foshag*[12]), desgl. über Colemanit in einem neuen Vorkommen nach *H. S. Gale*[13]).

Bezüglich der Vorkommnisse des Broms und Jods in den Kalisalzablagerungen ist die Bestimmung ihres Vorkommens im Meerwasser von erheblicher Bedeutung, welche neuerdings von *L. W. Winkler*[14]) gegeben wurde. Das Verhältnis von Br′ : Cl′ wurde zu 1 : 288 festgestellt; wichtig ist auch die Angabe, daß Jod in anorganischer Form (als Jodid und Jodat) im Meerwasser auftritt, nicht allein in organischer Verbindung, wie man nach *Gautier* (1899) angenommen hatte. Ganz besonders stark fand *L. W. Winkler*[15]) den Jodgehalt der sogenannten Urlaugen. Das Jod tritt nicht wie das Brom in den Carnallit in isomorpher Mischung ein *(Boeke* 1908), sondern es ist nach *M. Rózsa*[16]) das Verhältnis J′ : Br′ (im Meer-

---

[1]) E. Jänecke, Kali **10**, 371—375 (1916); **11**, 10—13 und 21—26 (1917).
[2]) O. Mügge u. A. Geller, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. 1924, 1—11; Zeitschr. f. Krist. **60**, 414—472 (1924).
[3]) P. Kling u. K. Brunhöver, Diss. (Halle a. S. 1916), 27f.
[4]) E. Jänecke, Entstehung der Kalisalzlager 1915, 108.
[5]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **60**, 67f. (1924).
[6]) K. Brunhöver, Diss. 1916, 28.
[7]) M. Rózsa, Zeitschr. f. anorg. Chem. **91**, 309f. (1915).
[8]) O. Mügge, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. 1919, 78—100.
[9]) F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 165.
[10]) U. Sborgi u. F. Meccacci, Atti R. Accad. d. Lincei, Rom [5] **24**, I, 443 bis 448 (1917); **25**, II, 455—458 (1917).
[11]) G. Linck, Centr.-Bl. f. Min. 1923, 193—200.
[12]) W. F. Foshag, Amer. Min. **9**, 11—13 (1924); eine Berichtigung loc. cit. 94.
[13]) H. S. Gale, Engin. Min. Journ. **112**, 524—530 (1921).
[14]) L. W. Winkler, Zeitschr. f. angew. Chem. **29**, 68, 205—207 (1916); **30**, 95f. (1917).
[15]) L. W. Winkler, loc. cit. **29**, 451f.
[16]) M. Rózsa, Centr.-Bl. f. Min. 1917, 175.

wasser 0,034 : 1) in wirklich etwas Jod enthaltenden Carnalliten zu 0,0008—0,0014 : 1 verschoben.

Während man im grauen Salzton gewöhnlich Magnesit als Karbonat bemerkt, gibt *M. Rózsa*[1]) in den oberelsässischen Kalisalzen Dolomitkristalle an.

Gelegentliches Vorkommen von Magnetkies in Kainit und Steinsalz beschrieb *E. Harbort*[2]). *F. Glöckner*[3]) beschreibt stecknadelkopfgroße Kriställchen von Kupferkies aus konglomeratischem Carnallit von Bleicherode.

Ueber den Chilesalpeter siehe *W. Wetzel*[4]).

Sehr ausführlich diskutierte *E. Fulda*[5]) das Vorkommen von Erdöl mit Salzlagerstätten; desgl. *G. S. Rogers*[6]). Ueber die Gaseinschlüsse der Salzlagerstätten siehe besonders *Gropp*[7]).

Eine sehr eingehend erörterte Frage ist die nach radioaktiven Einflüssen in den Kalisalzlagerstätten; die Färbung des blauen Steinsalzes wird als eine Wirkung radioaktiver Strahlungen angesehen[8]). *C. Doelter* erwägt auch die Radioaktivität des Kaliums, welche eine Rolle bei solchen Verfärbungen spielen könnte. Jedenfalls ist das häufige Vorkommen verhältnismäßig großer Mengen von Heliumgas in den Einschlüssen der Salzlagerstätten (*Valentiner* 1912) eine Stütze solcher Anschauungen, analog der Erklärung der Heliumgasquellen Nordamerikas[9]). Siehe auch die schon Seite 112 besprochenen Untersuchungen von *Przibram* und *Bělař* über das blaue Steinsalz[10]). *P. L. Bailey*[11]) verwendete kurze Bestrahlung von Steinsalz und Sylvin durch Röntgenstrahlen und darauffolgende Entfärbung am Lichte zur Unterscheidung dieser Salze. Von besonderem Interesse sind die von *O. Mügge* und *A. Geller*[12]) gefundenen Erscheinungen, daß die Fließdrucke des blauen Steinsalzes geringer sind als die des farblosen, was durch eine Auflockerung des Atomverbandes infolge teilweiser Neutralisation der Ionen sich erklären läßt.

---

[1]) M. Rózsa, Zeitschr. f. anorg. Chem. **93**, 137—150 (1915).

[2]) E. Harbort, Kali **9**, 250—253 (1915).

[3]) F. Glöckner, loc. cit. **8**, 307 (1914).

[4]) W. Wetzel, Zeitschr. f. prakt. Geol. 1924; Revista Caliche **4**, 538—541 (1923).

[5]) E. Fulda, Zeitschr. f. prakt. Geol. **28**, 144—147 (1920).

[6]) G. S. Rogers, U. S. Geol. Surv. Bull. **653**, 1—119 (1913).

[7]) Gropp, Kali **13**, 70—76 (1919).

[8]) Siehe dazu C. Doelter, Das Radium und die Farben (Braunschweig 1915), 68, wo auch die Möglichkeit einer elektrolytischen Zersetzung des Steinsalzes ins Auge gefaßt wird.

[9]) Vgl. G. S. Rogers, U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. **121**, 1—113 (1921).

[10]) Siehe auch Die Naturwiss. **12**, 376 (1924).

[11]) P. L. Bailey, Phys. Rev. [2] **21**, 716 (1923).

[12]) O. Mügge u. A. Geller, Zeitschr. f. Krist. **60**, 414—472 (1924); Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. 1924, 2.

Die Gesteinsmetamorphose.

Als Hauptwerk über die allgemeinen Erscheinungen der Metamorphose liegt nun der 1. Band des Werkes von *P. Niggli* und *P. Grubenmann*[1]) vor. In ihm ist die Einteilung des gesamten Stoffes ganz allgemein gekennzeichnet, je nachdem eine Stoffänderung (durch Verluste, Zufuhr- oder Austausch-Vorgänge) stattfand oder keine solche (einfache Metamorphose). Im großen und ganzen ist bereits das Beispiel der Metamorphosen von Salzgesteinen ausreichend zum Verständnis der hauptsächlichsten Gleichgewichtsverschiebungen unter dem Einfluß der Aenderungen der Zustandsbedingungen, welche die Metamorphose einleiten, und *P. Niggli* geht deshalb (wie vordem *F. Rinne*, s. o.) den Parallelismen der Salzgesteins- und Silikatgesteinsmetamorphosen nach.

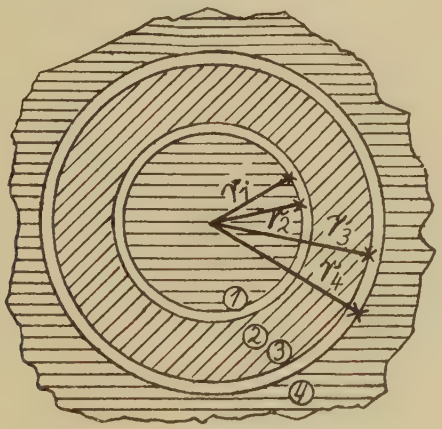


Fig. 49 Querschnitt der Versuchsanordnung zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Gesteinen unter Druck (nach Bridgman); horizontal schraffiert: Kupfer; der zu untersuchende Gesteinskörper ist schräg schraffiert; der mit der den Druck vermittelnden Flüssigkeit angefüllte Raum ist leer gelassen.

Allgemeines enthält auch die ausführliche Schrift von *C. K. Leith* und *W. J. Mead*[2]), sowie ein Aufsatz von *R. A. Daly*[3]). Siehe auch einen zusammenfassenden älteren Aufsatz von *B. Goßner*[4]) und die sehr vollständigen Literaturangaben in *P. Niggli's* Buch (s. o.).

P. W. Bridgman[5]) hat in einer groß angelegten Arbeit den Einfluß hoher Drucke auf das Wärmeleitvermögen verschiedener Gesteine untersucht. Das Prinzip der Apparatur zeigt Fig. 49; einige bemerkenswerte Ergebnisse sind aus Fig. 50 und 51a u. 51b zu entnehmen.

---

[1]) P. Niggli u. P. Grubenmann, Die Gesteinsmetamorphose (Berlin 1924).
[2]) C. K. Leith u. W. J. Mead, Metamorphic Geol. (New York 1915), 337 ff.
[3]) R. A. Daly, Bull. Geol. Soc. Amer. **28**, 375—418 (1917).
[4]) B. Goßner, Geol. Rundsch. **6**, 218—241 (1915).
[5]) P. W. Bridgman, Amer. Journ. of Sci. [5] **7**, 81—102 (1924).

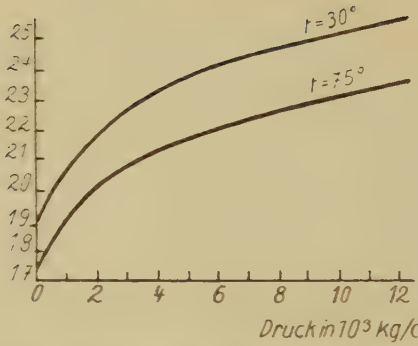


Fig. 50 Diagramm der beobachteten relativen Wärmeleitfähigkeiten [Ordinaten] und der angewandten Drucke [Abszissen] (nach Bridgman).

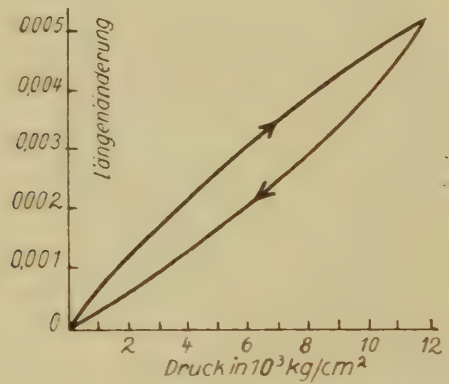


Fig. 51a Zyklus der Kompressibilität von Pfeifenton (nach Bridgman); man beachte die abnorme Hysteresis.

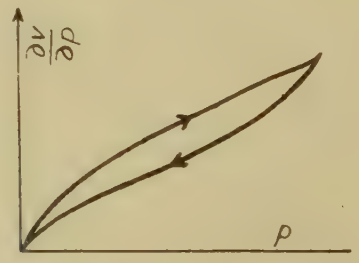


Fig. 51b Zweiter Typus einer solchen abnormen Hysteresis bei Pfeifenton.

Die physikalisch-chemische Forschung auf dem Gebiet der Metamorphosen ist noch wenig gefördert, da es in den natürlichen Systemen bei jenen Vorgängen sehr oft auf Ungleichgewichte hinausläuft, wo man noch nicht einmal die Gleichgewichte der Reaktionen in metamorphen Gesteinen beherrscht[1]). Am ehesten wären zunächst einige Beobachtungen über Stoffwanderungen durch Diffusionen zu bemerken, welche z. B. nach *G. Kalb*[2]) die Kugeldiorit-Strukturen erklären oder nach *N. L. Bowen*[3]) die Größe der Diffusionskoeffizienten in silikatischen Schmelzen und damit die Bildung von Reaktionszonen um Einschlüsse andersgearteten Gesteins herum betreffen. Auch besitzen wir schon bemerkenswerte Angaben über die Größe der Diffusionen selbst in festen Aggregaten von Metallen[4]); eine Wiederholung der Versuche von *Roberts-Austen* unternahmen *C. E. van Orstrand* und *F. P. Dewey*[5]), und *L. Runge*[6]) gelang es, den Diffusionskoeffizienten des Kohlenstoffs im kristallisierten Eisen bei 930° genau zu ermitteln (neuere Angaben von *G. Tammann* und *K. Schönert*[7]), modifizierten diesen noch etwas und enthalten auch die Temperaturabhängigkeit des Diffusionskoeffizienten). Sehr hübsche Untersuchungen über die Diffusion von Gold in Silber stellten auch *W. Fränkel* und *H. Houben*[8]) an. Wertvolle Beobachtungen der Wanderung von Metallen in Sulfiden stellte *A. Beutell* an[9]).

Stoffwanderungen durch Kapillarität spielen demgegenüber zweifellos bei metamorphen Prozessen nur eine verschwindend geringe Rolle, da nach den Rechnungen von *J. Johnston* und *L. H. Adams*[10]) für ein solches Eindringen des Wassers in große Tiefen die Poren so fein sein müßten, daß der Stofftransport sehr geringfügig werden müßte. Ueberdies kann in 1600 m Tiefe bereits der Kapillardruck vom Gesteinsdruck kompensiert werden[11]).

Die Thermometamorphose von Kalkstein und Dolomit ist bekanntlich durch die Marmorisierung, d. h. durch eine Kornvergrößerung gekennzeichnet. Eine solche Rekristallisation unter Egalisierung der Korngröße wurde schon 1908 von *F. Rinne* und *H. E. Boeke* nachgewiesen. Die Rekristallisation ist besonders von *G. Tammann* auf Grund seiner reichen Erfahrungen an gepreßten und bearbeiteten Metallstücken untersucht worden, und seine Erörterungen sind ebenso grundlegend für die

---

[1]) Vgl. J. Johnston u. P. Niggli, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **37**, 495 bis 576 (1914).

[2]) G. Kalb, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 155—158.

[3]) N. L. Bowen, Journ. of Geol. **29**, 295—317 (1921).

[4]) Aeltere Literatur, z. B. bei G. Tammann, Lehrb. d. Metall. 1914, 209ff.

[5]) C. E. van Orstrand u. F. P. Dewey, U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 95G; Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 216 (1916).

[6]) L. Runge, Zeitschr. f. anorg. Chem. **115**, 293—311 (1921).

[7]) G. Tammann u. K. Schönert, loc. cit. **122**, 27—43 (1922).

[8]) W. Fränkel u. H. Houben, loc. cit. **116**, 1—15 (1921).

[9]) A. Beutell, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 470ff.; 1919, 14—28.

[10]) J. Johnston u. L. H. Adams, Journ. of Geol. **22**, 1—15 (1914); Centr.-Bl. f. Min. 1914, 171.

[11]) Vgl. auch die interessanten Ausführungen von J. Barrell, Amer. Journ. of Sci. [5] **1**, 174—186 (1921).

Metallkunde wie für die Gesteinsmetamorphose [und z. B. auch die Theorie des Gletschereises [1])]. Die schönen mikrographischen Untersuchungen von *Chappel*[2]) und *E. Rassow* sowie *L. Velde*[3]) haben gezeigt, daß bei der Rekristallisation zunächst ein Kornzerfall, dann eine Neubildung kleiner Individuen zwischen den älteren zerfallenden und dann deren Wachstum bis zur völligen Umkristallisation des Ganzen einsetzt[4]). Sehr wichtige Angaben machten auch *R. S. Dean* und *W. E. Hudson*[5]) über die Rekristallisation des Bleis.

Ueber den Rekristallisationsprozeß siehe weiterhin *F. Rinne*[6]), wo eine allgemeine Uebersicht über ihn gegeben ist, sowie die Theorie von *H. Alterthum*[7]) und die Arbeit von *R. Groß*[8]). Daß unter Umständen selbst die Diffusion eine Aenderung der Kristallstruktur und demnach das Einsetzen eines Rekristallisationsvorgangs auszulösen vermag, haben neuerdings *J. H. Andrew* und *R. Higgins*[9]) gezeigt.

Die hauptsächlichsten Untersuchungen neuerer Zeit über die Dissoziationsgleichgewichte ergänzen die älteren Angaben von *J. Johnston* (1910); am wichtigsten ist die grundlegende Arbeit von *F. H. Smyth* und *L. H. Adams*[10]), in der bis zu sehr hohen CO_2-Drucken die Dissoziationskurve von $CaCO_3$ aufgenommen und die Gleichung

$$\log p_{CO_2} = -\frac{11355}{T} - 5{,}388 \log T + 29{,}119$$

als Ausdruck dieser Beobachtungen abgeleitet wurde. Diese schließt auch die älteren von *J. Johnston* völlig ein und korrigiert auch die Angaben von *H. Riesenfeld*. Die Dissoziationskurve verläuft stetig bis zu dem Knickpunkt, welcher der Schmelzung des Calcits (bei 1340° und 1000 atm.) entspricht. Mit dieser letzten Angabe ist die ältere von *H. E. Boeke* (1912) bei 1289° und 110 atm. CO_2-Druck berichtigt. Eine Umwandlung des gewöhnlichen Calcits in eine oberhalb 970° stabile α-Modifikation konnte von *F. H. Smyth* und *L. H. Adams* nicht gefunden werden. Das Eutektikum von $CaCO_3$ und CaO liegt nach *L. H. Adams* und *F. H. Smyth* ebenfalls recht verschieden von der Angabe von *H. E. Boeke*, nämlich bei 1240° und ca. 50 Proz. CaO-Gehalt. Das Fehlen der α-$CaCO_3$-Modifikation wurde von *W. Eitel* bestätigt[11]).

Die Untersuchung des Dissoziationsgleichgewichts für $[CaCO_3] \rightleftarrows [CaO] + CO_2$ mit Hilfe des *Nernst*'schen Wärmetheorems führte

---

[1]) Vgl. G. Tammann, Zeitschr. f. anorg. Chem. **113**, 163—178 (1920); Die Aggregatzustände 1922, 214 f.
[2]) Chappel, Ferrum **13**, 6 (1915).
[3]) E. Rassow u. L. Velde, Zeitschr. f. Metallk. **12**, 369 (1920).
[4]) Vgl. auch Carpenter u. Elam, Engin. **111**, Nr. 2855 (1920).
[5]) R. S. Dean u. W. E. Hudson, Journ. Amer. Chem. Soc. **46**, 1778—1786 (1924).
[6]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 232 (1924).
[7]) H. Alterthum, Zeitschr. f. Elektrochem. **28**, 347 (1922).
[8]) R. Groß, Jahrb. f. Radioaktiv. u. Elektr. **15**, 270 (1918).
[9]) J. H. Andrew u. R. Higgins, Ber. Die Naturwiss. **11**, 233 f. (1923).
[10]) F. H. Smyth u. L. H. Adams, Journ. Amer. Chem. Soc. **45**, 1167—1184 (1923).
[11]) W. Eitel, Schrift. d. Jablonowski'schen Ges. 1925.

K. von Kohner[1]) durch; es wurden von ihm auch die Dampfdrucke von $CaCO_3$ bei sehr kleinen Werten bestimmt, ferner die Dissoziationswärme und die spezifische Wärme, woraus das A-U-Diagramm abgeleitet werden konnte.

J. A. Hedvall[2]) suchte durch Erhitzungs- und Abkühlungskurven die Zersetzungs- und Bildungstemperaturen der Karbonate $CaCO_3$, $SrCO_3$, $BaCO_3$ und $MgCO_3$ zu bestimmen, doch ist das eingeschlagene Verfahren schwerlich zu genaueren Messungen geeignet. Die von *H. E. Boeke* (1913) ausgeführte Untersuchung des Systems $CaCO_3$—$BaCO_3$ erörterte späterhin *J. Samoiloff*[3]). In diesem Zusammenhang seien auch die Neuuntersuchungen der Systeme Na_2CO_3—$BaCO_3$ und Na_2CO_3—$SrCO_3$ erwähnt, welche *W. Eitel*[4]) durchgeführt hat, und die wesentlich andere Zustandsbilder ergaben, als *H. Lechatelier* (1894) angegeben hatte. Die von *H. E. Boeke* gefundenen Umwandlungspunkte der Karbonate $BaCO_3$ und $SrCO_3$ wurden bestätigt.

Gegenüber der weitgehenden Kenntnis des Systems CaO—CO_2 sind unsere Erfahrungen über die Gleichgewichte im System MgO—CO_2 und CaO—MgO—CO_2 nur sehr spärlich, infolge der großen Langsamkeit, mit der sie sich einstellen. Außer den orientierenden Untersuchungen von *Grünberg* sowie den Messungen von *R. Marc* und *W. Simek* (1913) besitzen wir nur einige neuere von *W. Manchot* und *L. Lorenz*[5]), welche indessen auffallend niedrige Werte ergeben und schwerlich wirklichen Gleichgewichten entsprochen haben werden. *W. Eitel*[6]) stellte dagegen durch statische Expositionsversuche fest, daß der Dolomit unter Anwendung schmelzflüssiger Katalysatoren verhältnismäßig leicht und glatt in ein Dissoziationsgleichgewicht eingeht, und daß sich so bei höheren CO_2-Drucken sichere Werte für die Dissoziation gewinnen lassen, die zu einer nur wenig von der *Marc—Simek*'schen abweichenden Kurve führen; sie hat die Form

$$\log p_{CO_2} = -\frac{6430}{T} - 2{,}605 \log T + 0{,}00114\,T + 19{,}00$$

und stimmt auch mit der Theorie befriedigend überein. Die von *J. A. Hedvall*[7]) gefundene Dissoziationstemperatur für $p_{CO_2} = 1$ atm. ist bei 546° jedenfalls zu hoch; nach obiger Gleichung ergibt sich ca. 403° C (402° nach *R. Marc* und *W. Simek*). Auch die Beobachtungen von *C. S. Gamett*[8]) dürften schwerlich zutreffen, zumal dieser Autor erst bei 625° CO_2-Abgabe bemerkte und CaO in dem Rückstand nachgewiesen haben will. Endlich seien die Messungen von *A. E. Mitchell*[9]) erwähnt, nach denen die Disso-

---

[1]) K. von Kohner, Diss. (Berlin 1914).

[2]) J. A. Hedvall, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 47—56 (1916).

[3]) J. Samoiloff, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 161—163; Entgegnung darauf von H. E. Boeke, loc. cit. 272.

[4]) W. Eitel, Schrift. d. Königsb. Gelehrt. Ges. Naturwiss. Kl. **1**, Heft 4, 172 ff. (1924).

[5]) W. Manchot u. L. Lorenz, Zeitschr. f. anorg. Chem. **134**, 304—346 (1924).

[6]) W. Eitel, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **51**, 477—493 (1924).

[7]) J. A. Hedvall, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 51 (1916).

[8]) C. S. Gamett, Min. Mag. **20**, 54—59 (1923).

[9]) A. E. Mitchell, Journ. Chem. Soc. London **123**, 1055—1069 (1923); Ref. Chem. Centr.-Bl. 1923, III, 1387.

ziationsdrucke des Dolomits geringer als die des Magnesits, aber größer als von Calcit bei gleicher Temperatur sein sollen.

Genetisch wertvoll sind die Beobachtungen von *A. F. Rogers*[1]) über das Auftreten von Periklas in Predazzitgesteinen. Aus Gemengen von $CaCO_3$ und $MgCO_3$ erhielt *W. Eitel* (unveröffentlicht) beim Zusammenschmelzen unter 110 kg/qcm CO_2-Druck nur Calcit und würfligen Periklas als Kristallarten, keinen Dolomit, was dem obigen Verhalten des Dissoziationsgleichgewichts im System $MgO-CO_2$ entspricht.

Die Thermo-Metamorphose der Kalk-(Dolomit-)Tonschiefer und -Sandgesteine.

Unter den thermometamorphen Mineralien der Tonschieferreihe ist die Gruppe des Sillimanits und Andalusits sowie des Disthens besonders wichtig. Die Stabilitätsbeziehungen zwischen diesen beiden Mineralien wurden neuerdings von *F. Neumann*[2]) (s. u.) durch Anwendung des *Nernst*schen Wärmetheorems geklärt: Sillimanit stabil bis auf sehr hohe Temperaturen, welche schon nahe der Zerfallstemperatur in Mullit ($3\,Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$, siehe S. 43) und SiO_2-Schmelze gelegen sind (ca. 1540°), Andalusit stabil oberhalb dieses Gebiets, also praktisch instabil, Disthen im ganzen Temperaturgebiet total instabil. Der Uebergang in Mullit kommt in der Natur nur selten in Betracht [so von der Insel Mull[3]) und vom Basalt des Bühls bei Cassel, cf. *W. Eitel*, vgl. unten], nämlich da, wo basaltische Oberflächenergüsse Tongesteine einschlossen[4]), wohl aber bei den künstlichen monotropen Umwandlungen von Andalusit, Disthen und Sillimanit in Mullit bei thermischer Exposition[5]). Die Instabilität von Disthen und Andalusit gegenüber Sillimanit prägt sich auch in natürlichen Paramorphosen aus. Das Zusammenvorkommen von Sillimanit und Korund in Syeniten ist von *A. Lacroix*[6]) beschrieben und dürfte ein Grenzphänomen der Assimilation tonerdereicher Silikatsedimente in magmatischem Material bzw. der Kristallisationsdifferentiation des letzteren vorstellen. Von *G. Klemm*[7]) ist das isomorphe Eintreten des Eisens und Mangans in den Andalusit (Manganandalusit, Viridin) beschrieben.

Die Entstehung des in kontaktmetamorphen Tonschiefer auch so häufigen Cordierits (Buchits) ist durch die Synthese von *G. A. Rankin* und *H. E. Merwin* (S. 53f.) erklärt. Der Plagioklasgehalt mancher solcher

---

[1]) A. F. Rogers, Amer. Journ. of Sci. [4] **46**, 581—586 (1918).

[2]) F. Neumann, Diss. (Königsberg 1925).

[3]) cf. N. L. Bowen u. J. W. Greig, Journ. Amer. Ceram. Soc. **7**, 238—254 (1924); Journ. Wash. Acad. Sci. **14**, 183—191 (1924).

[4]) Merkwürdig ist das von N. L. Bowen u. M. Aurousseau, Bull. Geol. Soc. of Amer. **34**, 431—448 (1923), beobachtete Auftreten von Sillimanit (wahrscheinlich Mullit) in angeschmolzenen Bohrkernen, die nachweislich bei etwa 1050° verflüssigt worden waren.

[5]) Vgl. A. B. Peck, Amer. Min. **9**, 123—129 (1924).

[6]) A. Lacroix, Compt. rend. **174**, 899—904 (1922).

[7]) G. Klemm, Notizbl. d. Ver. f. Erdk. (Darmstadt 1914).

Gesteine (Hornfelse) ist nach *H. A. Brouwer*[1]) kennzeichnend für einen zunehmenden Kalkgehalt; der Andalusit weicht alsdann dem Anorthit.

Ein einzigartiges Vorkommen ist das von *P. Eskola*[2]) beschriebene vulkanischer „necks" am See Jänisjärvi im östlichen Finland, wo man ein durchaus vulkanischen Laven (glasigen Daciten) ähnliches Gestein bemerkt, das ursprünglich ein Tonsediment gewesen sein muß.

Sehr interessant sind die Angaben von *H. A. Brouwer*[3]) über das Auftreten von Tridymit in den häufigen Quarzit- und Sandsteineinschlüssen der Basalte, sowie des Cristobalits speziell in dem der Blauen Kuppe bei Eschwege, wie ihn *P. Ramdohr*[4]) ausführlich beschrieb.

Das Verhalten der Karbonatschollen in Magmengesteinen ist durch die mannigfachen Mineralneubildungen in ihnen bemerkenswert; über den Monticellit in Alnöit hat besonders *N. L. Bowen*[5]) höchst wertvolle Beobachtungen veröffentlicht, welche er später auf die gesamten genetischen Verhältnisse der Paragenese dieses Minerals mit Melilith usw. ausdehnte[6]). Schon vor *N. L. Bowen* hatte *K. H. Scheumann* den Monticellit in den nordböhmischen Polzeniten gesehen [vgl. S. 68][7]). Ja sogar die β-Modifikation von $2\,CaO\,.\,SiO_2$ (als Kalkolivin) wurde von *N. L. Bowen*[8]) in einem schon 1906 von *Paul* gefundenen Nephelin-Eudialyt-Basalt von Tasmanien wiedererkannt. Die Bildung dieses letzteren aus dem kontaktmetamorphen System $CaO-SiO_2-CO_2$ erklären vor allem die eingehenden Untersuchungen von *P. Niggli*[9]). Sie geben gleichzeitig ein Bild von der Entstehung des Wollastonits und anderer Mineralien der kontaktmetamorphen Kalke (z. B. auch des Perowskits im System $CaO-TiO_2-CO_2$; vgl. S. 91f.). Häufig bemerkt man, daß die basischen Oxyde mit der Kieselsäure bereits im festen Zustande zu reagieren anfangen und einen Sintervorgang schon weit unter dem Schmelzpunkt einleiten[10]).

Ein besonders eigenartiges Problem ist die thermometamorphe Bildung der Ophicalcite und der Eozoon-Strukturen, die *G. Linck*[11]) behandelte.

Der von *F. E. Wright* (1908) entdeckte kontaktmetamorphe Spurrit ($2\,Ca_2SiO_4\,.\,CaCO_3$) wurde von *W. Eitel*[12]) im System $CaCO_3-Ca_2SiO_4$ unter hohen CO_2-Drucken wiedergefunden; der aus Schmelzen abgeschie-

---

[1]) H. A. Brouwer, Centr.-Bl. f. Min. 1918, 297—306.
[2]) P. Eskola, Bull. Comm. Géol. de Finl. **55**, 1—13 (1921).
[3]) H. A. Brouwer, Centr.-Bl. f. Min. 1918, 41—46.
[4]) P. Ramdohr, loc. cit. 1920, 33—36; Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. **40**, I, 284—355 (1919).
[5]) N. L. Bowen, Journ. Wash. Acad. Sci. **11**, 278—281 (1921).
[6]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 1—34 (1922).
[7]) Besonders K. H. Scheumann, Centr.-Bl. f. Min. 1922, 495—546; vgl. N. L. Bowen, Journ. Wash. Acad. Sci. **13**, 1—4 (1923).
[8]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [5] **3**, 31 (1922).
[9]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 241—326 (1916).
[10]) Vgl. J. A. Hedvall, Zeitschr. f. anorg. Chem. **98**, 58—63 (1916); D. Balarew, loc. cit. **134**, 117—124 (1924); und V. M. Goldschmidt bei P. Niggli, loc. cit. 253; siehe auch J. W. Samoilow, Bull. de l'Acad. d. Sci. Petersburg 1914, 1385—1394.
[11]) G. Linck, Chemie d. Erde **1**, 1—8 (1915).
[12]) W. Eitel, N. Jahrb. f. Min. 1923, I, 185; Beil.-Bd. **47**, 63 ff. (1923).

dene Spurrit ist stabil gegenüber dem natürlichen, von diesem durch höhere Symmetrie unterschieden.

Die von *V. M. Goldschmidt* und *P. Niggli*[1]) (1912, 1913) gegebene Erörterung der Quarz-Calcit-Wollastonit-CO_2-Paragenesen[2]) ist im Zusammenhang mit den schon oben besprochenen Gleichgewichtsuntersuchungen *P. Niggli's* von erheblicher Bedeutung für die Zusammenhänge der Mineralbildungen mit Tiefentemperatur und -Druck[3]). Die Beobachtung im Kristianiagebiet bestätigt die von *V. M. Goldschmidt* vorausgesehenen Verhältnisse[4]).

Ueber eigenartige schriftgranitähnliche Verwachsungen von Calcit mit Quarz siehe die Angaben von *A. Lacroix*[5]); sie finden sich in kontaktmetamorphen Kalken auf Madagaskar.

Nach *H. A. Brouwer*[6]) ist die Paragenese von Anorthit und Wollastonit typisch für die Einschlüsse in vulkanischen Gesteinen, die bei verhältnismäßig geringen Drucken umgebildet wurden; bei höheren Drucken während der Kontaktmetamorphose (z. B. im Kristianiagebiet, vgl. *V. M. Goldschmidt*) ist die Paragenese Quarz—Grossular typisch. Dies stimmt in der Tat zu den Erfordernissen des Systems SiO_2—Al_2O_3—CaO (s. o. S. 54). Ueber Cipollin mit interessanten Diffusionserscheinungen von MgO, Fe_2O_3, FeO, TiO_2 und Al_2O_3 siehe *J. Jung*[7]).

Thermometamorphose und Reduktion von Sulfiden.

Ueber die thermische Dissoziation des Pyrits siehe die Arbeit von *E. T. Allen* und *R. H. Lombard*[8]); es entsteht Magnetkies mit einem Schwefelgehalt, der abhängig ist von Schwefeldampfdruck und Temperatur der Umgebung. Derartige in der Natur besonders in Basalten häufige Knollen von Magnetkies erfahren unter Umständen eine Abröstung zu Magnetit in einer „schlackigen" Ausbildungsform, wie sie für viele oxydische Knollen derselben Gesteine typisch ist. Unter geeigneten geologischen Verhältnissen, besonders beim Fall des Durchbruchs durch Braunkohlenlager u. dgl., kann eine Reduktion des Magnetits zu metallischem Eisen selbst einsetzen, wie diese Reaktionen *W. Eitel* mit *W. Irmer* und *L. Velde*[9]) in dem Vorkommen des Bühls bei Weimar verfolgen konnten. Daher ist die Reduktion zum Metall im wesentlichen eine Folge von Gas-

---

[1]) Siehe Ref. von R. Nacken, N. Jahrb. f. Min. 1915, II, 342 ff.

[2]) Vgl. auch P. Niggli, Gesteinsmetam. 1924, I, 96, 100.

[3]) Vgl. über diese geobaren und geothermen Beziehungen auch A. Johnsen, Die Naturwiss. **7**, 691 f. (1919).

[4]) Vgl. V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selskab. Skrift. math.-natw. Kl. 1915, Nr. 10.

[5]) A. Lacroix, Compt. rend. **163**, 726—731 (1916).

[6]) H. A. Brouwer, Centr.-Bl. f. Min. 1920, 37—45.

[7]) J. Jung, Compt. rend. **179**, 1061—1063 (1924).

[8]) E. T. Allen u. R. H. Lombard, Amer. Journ. of Sci. [4] **43**, 175—195 (1917).

[9]) W. Eitel, W. Irmer u. L. Velde, Abhandl. d. Senkenb. Naturforsch. Gesellsch. Frankfurt a. M. **37**, 91—175 (1920).

reaktionen nach der Art der Hochofenprozesse [1]). Vgl. auch das Ovifak-Eisen bei *Hj. Sjögren* [2]).

Kontaktmetamorphose mit Stofftransport.

Definiert man mit *V. M. Goldschmidt* [3]) die Metasomatose als eine Umwandlung eines Gesteins, bei der Substanz zugeführt wird, wobei die Bindung oder Anreicherung der zugeführten Substanz durch chemische Reaktionen stattfindet, an welchen sowohl die ursprünglich vorhandenen wie die neugebildeten Mineralien teilnehmen, so wird ein großer Teil kontaktmetamorpher Vorgänge in der Natur unter die Silikatmetasomatose unter Zufuhr von Metallverbindungen einbegriffen. So die Feldspatisierung und der Alkaliaustausch, Biotitbildung, Aegirinisierung durch Alkalizufuhr am Granitkontakt, die Syenitisierung von Graniten in Alkalikontaktzonen, die Magnesia-Metasomatose, die Epidotbildung durch Ca-Zufuhr usw. Ferner könnte man dahin die Topas-Turmalin-Skapolith-Apatitbildung durch pneumatolytische Fl-B-Cl-P-Zufuhr rechnen, Sulfid- und Sulfatbildung z. B. in Alaunstein, in weiterem Sinne selbst die Diaphtorese und die Verwitterung, endlich die Verkieselung und die Graphitbildung. Die Metasomatose ist daher in weiterem Umfang ein metamorphosierender Faktor im Stoffwechsel der Erde [4]). Eine außerordentliche Fülle petrographischer Erfahrungstatsachen entspricht diesen allgemeinen Gesichtspunkten einer Silikatmetasomatose, für welche in einem speziellen physikalisch-chemisch-petrologischen Forschungsberichte Nachweise erbracht werden sollen. Es sei hier nur auf die kurze Literaturübersicht bei *V. M. Goldschmidt* hingewiesen, sowie auf die wichtigen Beobachtungen von *W. C. Brögger* im Fengebiet [5]), auf die Studien von *N. Sundius* im südlichen Kirunagebiet [6]), wo die enorme regionale Ausdehnung der Albitisierung und Skapolithisierung auffallend ist, die Beobachtungen von *V. M. Goldschmidt* selbst [7]) über Natronzufuhr in Sandsteinen, ähnliche von *H. A. Brouwer* [8]) über Feldspathornfelse und ähnliche von *O. H. Erdmannsdörfer* [9]). Vgl. auch über die Natronzufuhr bei Bildung der Adinole *L. Milch* [10]). Sehr beachtenswert sind vor allen Dingen die Mitteilungen von *H. A. Brouwer* [11]) über Bildung von Axinit und Albitschnüren mit Aegirin und Riebeckit unter solchen Umständen.

Sehr bemerkenswert, weil in die Erscheinungen der Assimilationen und Einschmelzungsmetamorphosen (endogenen Kontaktmetamorphosen)

---

[1]) Vgl. A. Matsubara, Zeitschr. f. anorg. Chem. **124**, 39 ff. (1922).
[2]) Hj. Sjögren, K. Sv. Vetensk.-Akad. Årsbok firår 1916, 255—290.
[3]) V. M. Goldschmidt, Die Naturwiss. **10**, 145—152 (1922).
[4]) Vgl. Vidensk. Selskab Skrift. math.-natw. Kl. Kristiania 1922, Nr. 10.
[5]) W. C. Brögger, loc. cit. 1920, Nr. 9 (Kristiania 1921).
[6]) N. Sundius, Geol. d. Kirunagebiets Nr. 4 (Upsala 1915).
[7]) V. M. Goldschmidt, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **39**, 193—224 (1914).
[8]) H. A. Brouwer, Centr.-Bl. f. Min. 1916, 417; 1917, 484 f.; Geol. Rundschau **5**, 551 (1915).
[9]) O. H. Erdmannsdörfer, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **37**, 739 (1914).
[10]) L. Milch, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **69**, 426—447 (1917).
[11]) H. A. Brouwer, Centr.-Bl. f. Min. 1918, 304.

überleitend, ist die großzügige Untersuchung des Laacher Seegebietes durch *R. Brauns*, welche gezeigt hat, wie innig eine Pneumatolyse mit den „pyrometamorphen" und metasomatischen Vorgängen (im obigen Sinne) verknüpft ist. So ist z. B. die Bildung aufgewachsener Sanidine in Drusenräumen zu deuten [1]), oder die Skapolithisierung durch zirkulierende Salzlösungen [2]). Die Natronzufuhr ist im Laacher Seegebiet sehr ausgeprägt, während Eisen und Magnesium ausgeführt werden [3]).

In wie engem Zusammenhang die pyrometamorphen Vorgänge mit denen der Injektionserscheinungen sein können, zeigt die Beschreibung solcher metamorpher Schiefer aus dem Laacher Seegebiete [4]); die Analogie zu den von *V. M. Goldschmidt* im Stavangergebiet beobachteten Verhältnissen ist überzeugend [5]). Vgl. auch *F. Becke* [6]), ferner *W. Haardt* [7]); der Laacher-See-Trachyt ist nach *R. Brauns* ein hybrides Gestein [8]). Vgl. auch die Ausführungen von *J. J. Sederholm* [9]) über die Migmatite in Finland. Vor allen Dingen hat auch *W. G. Foye* [10]) höchst wertvolle Beobachtungen über das Eindringen alkalireicher Lösungen in kontaktmetamorphe Amphibolite gemacht, sowie auf die innige Verknüpfung von Alkali-(Nephelin-) Syeniten mit Granitpegmatiten hingewiesen, welche nach einer der *Daly*schen Assimilationstheorie entsprechenden Anschauung durch Reaktion eines Granitmagmas mit Kalkstein entstanden sind und daher große Mengen freier Alkalien lieferte, welche in die metamorphe Umgebung eindrangen (nach dem Vorkommen von Haliburton Co., Ontario). Aehnliches erwähnt auch *R. A. Daly* [11]) von Bancroft. Kennzeichnend ist die Mineralisation von Skapolithfelsen (mit Mejonit), selbst die Bildung von Vesuvian, als „primäres" Mineral ausgeschieden (so in dem von *P. Quensel* beschriebenen Canaditen von Almunge in Schweden [12]). Es ist in hohem Grade bedeutsam, daß solche Gesteine auch den Cancrinitsyeniten nahestehen, und diese also zu einem Teil durch Assimilation von Kalk in magmatisches Gestein entstanden sein können, wie das die umfassende Theorie von *R. A. Daly* (in dem oben genannten Lehrbuch) in der Tat verlangt. In weitem Maße verwirklicht erscheinen die Voraussetzungen dieser Assimilationstheorie in dem Fengebiet des südlichen Norwegens, welches W. *C. Brögger* in seiner hervorragenden Monographie [13]) beschrieb. Wenn auch manche Ansichten dieser Arbeit neuerdings von *N. L. Bowen* [14]) um-

---

[1]) Karlsbader Zwillinge, siehe N. Jahrb. f. Min. 1917, 45—49.

[2]) Loc. cit. 1—44.

[3]) Vgl. im Zusammenhang R. Brauns (1911), und Die Mineralien der Niederrhein. Vulkangebiete (Stuttgart 1922).

[4]) R. Brauns, Centr.-Bl. f. Min. 1923, 449—461.

[5]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. I, math.-naturw. Kl. 1920, Nr. 10 (Kristiania 1921).

[6]) F. Becke, Tscherm. Min.-Mitt. **36**, 25—41 (1923).

[7]) W. Haardt, Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. **35**, II, 228 (1914).

[8]) R. Brauns, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **41**, 487 (1916); **46**, 110 (1921).

[9]) J. J. Sederholm, Bull. comm. géol. de Finland **58** (1923).

[10]) W. G. Foye, Amer. Journ. of Sci. [4] **40**, 413—436 (1915).

[11]) R. A. Daly, Jgn. rocks a. th. origin. 1915, 431.

[12]) P. Quensel, Centr.-Bl. f. Min. 1915, 201 f.

[13]) W. C. Brögger, Vidensk. Selskab. Skrift. 1920, Nr. 9, (Kristiania 1921).

[14]) N. L. Bowen, Amer. Journ. of Sci. [5] **8**, 1—11 (1924).

gedeutet wurden durch den Nachweis hydrothermaler Einflüsse bei der Bildung der Ca-Mg-Fe-Karbonatgesteine dieses großartigen Vorkommens, insbesondere die von *W. C. Brögger* noch angenommene Entstehung großer Kalkgesteinskomplexe aus dem Schmelzfluß mit den thermischen Daten (1340° Schmelzpunkt bei 1000 Atm. CO_2-Druck, s. o.) schwer in Einklang zu bringen sein wird, so ist doch die Fülle des von *W. C. Brögger* Beobachteten eine der größten petrologischen Leistungen des vergangenen Jahrzehnts. Die von *W. C. Brögger* aufgeworfene Frage der Entstehung eines primären Calcits in Magmengesteinen ist in der Tat schon vordem von zahlreichen Forschern *(Högbom, Rimann, Stutzer, Adams-Barlow* u. a.) ausgiebig erörtert worden (vgl. auch die zusammenfassende Darstellung von *O. H. Erdmannsdörfer*[1]) über die Aufschmelzungsvorgänge. So beschreibt auch *A. Lacroix*[2]) ausführlich kontaktmetamorphe Kalke usw. von Madagaskar und in den „Dissogeniten" granitisch-syenitisch-monzonitische Gesteine mit Gehalt an Wollastonit, Grossular, Skapolith usw.[3]); besonders aber hat in neuerer Zeit *E. Schuster*[4]) zahlreiche calcitreiche Auswürflinge das Laacher-Seegebiets vom Typus alkalisyenitischer Tiefengesteine beschrieben, in denen zweifellos der Calcit mit Alkalisilikaten gleichzeitig magmatisch ausgeschieden erscheint, und besonders Karbonatnosean, Cancrinit, seltener Karbonatapatit gebildet wurde. Viele von solchen Gesteinen mit ausgeprägtem syenitischen oder pegmatitischen Habitus sind nach *R. Brauns* geradezu als Calcitsyenite und -pegmatite zu bezeichnen. Bemerkenswert ist auch das Auftreten von Melilith-führenden Gesteinen in ihrem Verband. Eine Stütze erhalten die Ansichten von *W. C. Brögger, E. Schuster* und *R. Brauns* in den Studien von *W. Eitel* (siehe auch anderen Orts) über die Synthese von Cancriniten, Mejoniten und Karbonatapatit.

Ueber die kontaktmetamorphe Natur zahlreicher fennoskandischer Skapolith- oder Albit-Epidot-Kalkgesteine (so von Laurinkari, Mansjö, Pargas) ist eine gleichfalls höchst beachtenswerte Literatur vorhanden, von der nur die Arbeiten von *L. H. Borgström*[5]), *Laitakari*[6]), *P. Eskola*[7]), *H. von Eckermann*[8]) erwähnt seien. Hier ist auch oft die Verknüpfung mit Skarnbildungen so bemerkenswert [vgl. die Ausführungen von *P. Eskola*[9]) über die Andraditskarne des Sviatoy Noss-Gebiets in Transbaikalien]; gerade die Eisensilikaterze der Lievrit-Ilvaitgruppe sind zum erheblichen Teil kontaktpneumatolytischen Ursprungs, im Verein mit hydrothermalen Lösungen entstanden, wobei auch oft Zeolithe, Natrolithschiefer usw. sich bildeten[10]). Daß auch Talkschiefer metasomatisch aus Dolomitgesteinen in

---

[1]) O. H. Erdmannsdörfer, Fortschr. d. Min. **5**, 172—209 (1916).
[2]) A. Lacroix, Compt. rend. **163**, 726—731 (1916).
[3]) A. Lacroix, loc. cit. **179**, 945—950 (1924).
[4]) E. Schuster, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **43**, 299—318 (1920).
[5]) L. H. Borgström, Bull. comm. géol. de Finl. 1914, Nr. 41, 1—30.
[6]) Laitakari, loc. cit. **54**, 1—113 (1920); **51**, 1—13 (1918).
[7]) P. Eskola, loc. cit. **40**, 1—274 (1914).
[8]) H. von Eckermann, Geol. Fören. Förhdl. **44**, 203—410 (1922).
[9]) P. Eskola, Oefvers. af Finska Vetensk. Soc. Förhdl. **63**, A. Nr. 1 (1920/1).
[10]) Vgl. die Studien von F. Kretschmer, N. Jahrb. f. Min. 1918, 19—42.

Kontaktgebieten durch Umsetzung mit postvulkanischen Magnesiumsilikatlösungen entstehen können, wird durch das von *K. Walther*[1]) in Uruguay untersuchte Vorkommen wahrscheinlich.

Ziemlich isoliert steht das von *H. Arlt* und *H. Steinmetz*[2]) beschriebene Vorkommen von Magnesit in magmatischem Gestein; es entspricht in manchem dem Sideritvorkommen in den magmatisch-pneumatolytischen Kryolithlagerstätten auf Grönland[3]).

Die kristallinen Schiefer.

Zusammenfassende Arbeiten neueren Datums besitzen wir in dem Buche von *P. Grubenmann* und *P. Niggli*[4]); zudem gab *L. Milch*[5]) eine Darstellung der Entstehungsart der kristallinen Schiefer, wobei eine Belastungsmetamorphose von einer Dislokationsmetamorphose unterschieden wird, je nachdem in Ruhe oder unter Einfluß orogenetischer Vorgänge die Metamorphose sich vollzog[6]). *F. Rinne*[7]) behandelte das so schwierige Problem in durchgehender Analogie mit der Metamorphose der Salzlagerstätten und deutet auf die Gesetzmäßigkeiten der Tektonik in beiden Richtungen hin. Wichtige physikalisch-chemische Gesichtspunkte gibt auch die ältere Arbeit von *P. Niggli*[8]), in der die Assoziationen der Mineralien kristalliner Schiefergesteine und ihre „Variationsbreite" (das Bereich der Konzentrationen, in dem sie vorkommen) vom Standpunkt der Gleichgewichtslehre aus erörtert werden.

Im Falle der „paramorphen" Bildung kristalliner Schiefer findet *A. Lacroix*[9]), daß die entstehenden metamorphen Gesteine im Chemismus nur wenig von den ursprünglichen abweichen (z. B. bei Amphiboliten, gebildet aus Noriten, Websteriten, Diallagiten, auf Madagaskar, in den Pyrenäen, im niederösterreichischen Waldviertel).

Sehr wesentlich ist auch der von *A. L. Th. Moesveld*[10]) betonte erhebliche Einfluß der Löslichkeitsänderung der Mineralstoffe mit Aenderungen der Druckbedingungen; ein Faktor, den man bisher geringer einschätzte.

Ueber die von orogenetischen Faltungen und thermischen Wirkungen unterstützte „Versenkungsmetamorphose" siehe *K. Andrée*[11]). *J. Barrell*[12]) stellt die regionale Metamorphose in nahe Beziehung zur Kontaktmetamorphose. Die typische Bildung hydratisierter Mineralien in regional-

[1]) K. Walther, Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. **66**, 408—427 (1914).
[2]) H. Arlt u. H. Steinmetz, Zeitschr. f. Krist. **54**, 590—606 (1915).
[3]) Vgl. Baldauf (1910).
[4]) P. Grubenmann u. P. Niggli, Die Gesteinsmetamorphose I (Berlin 1924).
[5]) L. Milch in W. Salomon's Grundzügen d. Geol. 1922, 296—326.
[6]) Vgl. auch A. Heim, Geol. d. Schweiz 1919, II, 74: Zonalmetamorphose.
[7]) F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 297 f.
[8]) P. Niggli, Ber. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **67**, 223—269 (1915).
[9]) A. Lacroix, Compt. rend. **164**, 969—974 (1917).
[10]) A. L. Th. Moesveld, Versl. d. Kon. Akad. v. Wetensch. te Amsterd. **26**, 134 (1918).
[11]) K. Andrée, Geol. Tabell. II, 117 (Berlin 1921).
[12]) J. Barrell, Amer. Journ. of Sci. [5] **1**, 1—19, 174—186, 255—267 (1921).

metamorphen Gesteinen erklärt sich nach *J. Barrell* durch Aufnahme des Wassers aus den magmatischen Quellen, wobei eine oft erhebliche Volumverminderung eintritt, die im Sinne des Prinzips von *H. Lechatelier* bei dem in der Tiefe herrschenden allseitigen Druck begünstigt wird. Mit dem batholitischen Untergrund regionalmetamorpher Gesteine hängt andererseits die typische Ausbildung von Injektionsgneisen an ihrem tiefsten Teil zusammen, wo durch Aufblätterung der ursprünglichen Sedimente sich typische „lit par lit"-Injektionsstrukturen ausbilden können. Im Zusammenhang damit kennzeichnet sich selbst die Differentiation des batholithischen Magmas. Damit werden in der Tat die Anschauungen von *J. J. Sederholm* (1891, 1911) über die Injektionsgesteine von Finland in weitem Umfang gedeckt (Palingenese), desgl. die von *V. M. Goldschmidt* im Stavangergebiet[1]) verständlich. Von der neueren Literatur seien hier genannt auch die Arbeiten von *J. J. Sederholm*[2]).

Einseitiger Druck und seine Wirkungen.

1915 gab *P. Niggli*[3]) [eine Erwiderung von *R. Wegscheider*[4])] eine theoretische Ableitung des Verhaltens eines Kristalls bei einseitiger Belastung; diese Arbeit, welche eine Stützung des älteren Prinzips von *Poynting* und *Ostwald* erbrachte, wurde später von *M. Hasselblatt*[5]) einer kritischen Nachrechnung unterzogen, in der die Gültigkeit der *Poynting-Niggli*'schen Formeln auf gewisse spezielle Fälle reduziert wird. *G. Tammann*[6]) entgegnet *Niggli's* Ableitung, daß nur der von *Gibbs* und *Riecke* eingeschlagene Weg des Ansatzes zum Ziele führen kann, bei welchem die Aenderung des Drucks und der Temperatur für das Gleichgewicht zwischen einer anisotropen Phase in Berührung mit einer isotropen durch eine auf die erstere in orientierter Richtung ausgeübte Druckbeanspruchung untersucht wurde. Wobei diese Druckbeanspruchung nur bis zur Elastizitätsgrenze ansteigen kann, weil sonst das Gebiet der möglichen Gleichgewichtszustände verlassen wird. Eine praktisch nennenswerte Aenderung der Gleichgewichtstemperatur und des Drucks tritt nach diesem strengen Ansatz in den gegebenen Grenzen nicht ein. Wichtig ist aber die Zunahme der potentiellen Energie für den gepreßten Kristall gegenüber einem nicht beanspruchten in der gleichen Lösung[7]).

Die Erscheinung des Nachgebens unter dem einseitigen Druck ist nach den klassischen Versuchen von *O. Mügge* am Eis (1900) als ein

---

[1]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selskab. Schrift. Math.-natw. Kl. I, 1920; Nr. 10, 1921.

[2]) J. J. Sederholm, Geol. Fören. Förhdl. **41**, 249—256 (1919); **46**, 129 bis 153, 253—271 (1924).

[3]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **91**, 107—133 (1915).

[4]) R. Wegscheider, loc. cit. **93**, 95 f. (1915).

[5]) M. Hasselblatt, loc. cit. **93**, 75—83 (1915).

[6]) G. Tammann, Die Aggregatzustände (Leipzig 1922), 188 ff.; s. a. Zeitschr. f. anorg. Chem. **92**, 37—46 (1915).

[7]) cf. Taber, Amer. Journ. of Sci. [4] **41**, 532—556, 1919; F. E. Wright und J. C. Hostetter, Journ. Wash. Acad. Sci. **7**, 405—417 (1917).

kristallographischer Gleitvorgang[1]) gekennzeichnet, so auch bei den Metallen[2]). Die Neigung des Metalls, in den normalen nicht „forcierten" Zustand einer „Gußstruktur" durch Rekristallisation überzugehen, ist von metallographischer Seite oft eingehend behandelt worden[3]), Besonders eingehend hat *J. Czochralski*[4]) die Metalle im Fließen untersucht und als erzwungen homöotrop in diesem Zustand erkannt. Dabei sind aber die Metalle im homöotropen Zustand keineswegs etwa amorph geworden, vielmehr sind die Störungen ihres Raumgitters auch bei stärkster mechanischer Beanspruchung doch nur oberflächlich und geringfügig[5]). Mit den „flüssigen Kristallen" *O. Lehmann's* dürfen die Metalle indessen auch nicht verglichen werden, da diese überhaupt keinen Raumgitterbau zeigen[6]).

Hochinteressant und für die Kristallisation eines metamorphen Schiefers bedeutsam sind die Diagramme von *J. Czochralski*[7]) über den Zusammenhang des „Verlagerungsgrads" mit Korngröße, Kernzahl und Rekristallisationsgeschwindigkeit[8]). *W. Schmidt*[9]) hat vor allen Dingen die Analogien solcher Kaltbearbeitung von Metallen mit den Vorgängen der Dislokationsmetamorphose auf Grund mechanischer Rechnung diskutiert; seine Folgerungen für das plastische Nachgeben der tektonisch beanspruchten Gesteine und die Entstehung der Schieferung sind grundlegend für die neueren Erörterungen geworden. *P. Gautier*[10]) hat einige beachtenswerte Versuche an organischen Körpern wie Wachs, Cetin usw. angestellt, welche eine Rekristallisation solcher Kristallaggregate, wie die Gesteine es sind, in der Tat im hohem Grade als Modell nachzubilden gestatten.

Auch für die Entstehung des Gletschereises und seine Bewegung im Eisstrom haben diese Betrachtungen hohe Bedeutung, wie dies besonders *G. Tammann*[11]) im Gegensatz zu der älteren *Helmholtz*'schen Regelationstheorie ausgeführt hat, im Anschluß an seine früheren Untersuchungen

---

[1]) Ueber die früher von F. Rinne im Anschluß an die O. Mügge'schen Beobachtungen gleichfalls durch Translationen erklärte Entstehung der sogenannten „deformierten" Tonsalzwürfel im Salzton von Gräfentonna (Thür.) siehe O. Mügge, Zeitschr. f. Krist. **59**, 366–374 (1924); das Phänomen ist ganz andersartig, es wurde der Ton plastisch deformiert, und das Steinsalz wuchs in den parallelepipedischen freien Hohlraum nach. Anwendung auf Porphyroblasten siehe weiter unten.

[2]) Vgl. zu diesen und den nachstehenden Ausführungen die ausgezeichnete Monographie von G. Sachs, Grundbegriffe der mechan. Technol d. Met. (Leipzig 1925).

[3]) Vgl. G. Masing, Zeitschr. f. Metallk. **10**, 65—81 (1919).

[4]) J. Czochralski, loc. cit. **8**, 1—43 (1916).

[5]) Vgl. W. Geiss u. J. A. M. van Liempt, Zeitschr. f. anorg. Chem. **133**, 107—112 (1924).

[6]) F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 240 f. (1924).

[7]) J. Czochralski, Zeitschr. f. Metallkd. **6**, 289—296 (1914); **8**, 44 (1916); Zeitschr. d. Ver. D. Ing. 1917, 345–351; siehe auch über Verlagerung und Röntgenforschung, Zeitschr. f. Metallkd. **15**, 126 (1923); vgl. a. R. Groß, loc. cit. **16**, 344 bis 352 (1924); F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 233 (1924).

[8]) Siehe auch die Erörterungen bei Masing, s. o.; und bei P. Niggli, Gesteinsmetamorphose I, 1924, 161 ff.

[9]) W. Schmidt, Mitt. d. Geol. Ges. Wien **8**, 62—115 (1914).

[10]) P. Gautier, Compt. rend. **173**, 1089—1092 (1921).

[11]) G. Tammann, Die Aggregatzustände 1922, 198—201.

über die Ausflußgeschwindigkeit des Eises. Auch hat *O. Mügge* die Plastizität des Eises stets auf die polare Gleitung zurückgeführt.

Daß beim Fließen der Kristalle unter hohem Druck tatsächlich Schmelzen nicht in Frage kommt, hatte schon 1907 *F. Rinne* durch Pressung des gegen Schmelzung durch inkongruenten Zerfall besonders empfindlichen Carnallits erwiesen. Diese Versuche wurden neuerdings von *O. Mügge*[1]) wiederholt; auch bei stärksten Drucken findet ein Fließen durch Schmelzen nicht statt. Die genannte Arbeit enthält auch höchst wertvolle Hinweise auf die Bildung von Gleitflächen bei Bischofit, Steinsalz und Sylvin unter sehr bedeutenden Drucken.

Mit der Druckfestigkeit und Kompressibilität vieler gesteinsbildender Mineralien haben auch die Arbeiten von *P. W. Bridgman*[2]) und *J. Johnston*[3]) sowie *L. H. Adams, E. D. Williamson* und *J. Johnston*[4]) engen Zusammenhang: besonders ausführlich beschäftigte sich *L. H. Adams* und *E. D. Williamson*[5]) mit der Kompressibilität zahlreicher Substanzen (Mineralien und Metalle). Die Struktur der klastischen kristallinen Schiefer ist ja dadurch zum Wesentlichen zu erklären, daß einseitig gerichteter Druck (Streß) die Elastizitätsgrenze der Kristalle überschreitet, also dauernde Deformationen sich einstellen[6]). Die Streßwirkungen an den Gesteinen vergleicht *G. Tammann*[7]) geradezu mit der Kaltbearbeitung der Metalle; die Entstehung der Schieferung hat dann ihr Analogon an den Vorgängen in Preßstücken aus den Pulvern verschiedener Metalle. Diese müssen nach der Bearbeitung („strain") wieder einem Gleichgewichtszustande zustreben, den sie bei höheren Temperaturen in einiger Zeit in der Tat erreichen können (durch Sammelkristallisation, *F. Rinne*, wobei das Diffusionsvermögen eine wichtige Rolle spielt). Schon im festen Zustand kann dann eventuell eine Mineralneubildung durch chemische Reaktionen einsetzen (vgl. *J. A. Hedvall, P. Niggli* u. a., S. 145); die erhöhte Reaktionsfähigkeit der stark druckbeanspruchten Kristalle ist nach *O. Mügge*[8]) eine Folge davon, daß im allgemeinen der Betrag der Translationen kein ganzes Vielfaches der Deckschiebung im Kristall sein kann.

Die Entstehung der typischen dislokationsmetamorphen Schiefer-(Gneis-)Strukturen ist nach wie vor ein schwieriges Problem, welches von verschiedener Seite in Angriff genommen wurde. So gibt zunächst *P. Niggli*[9]) eine Erklärung der Entstehung von Porphyroblasten und der

---

[1]) O. Mügge, nach Versuchen von A. Geller, Zeitschr. f. Krist. **60**, 414—472 (1924); Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. 1924, 1—11.

[2]) P. W. Bridgman, Amer. Journ. of Sci. [4] **45**, 243—268 (1918).

[3]) J. Johnston, Journ. Franklin Inst. 1917, 1—32.

[4]) L. H. Adams, E. D. Williamson u. J. Johnston, Journ. of Amer. Chem. Soc. **41**, 12—42 (1919).

[5]) L. H. Adams u. E. D. Williamson, Journ. Franklin Inst. **195**, 475–529 (1923).

[6]) J. Johnston, N. Jahrb. f. Min. 1915, II, 89—109; mit P. Niggli, siehe auch loc. cit. Beil.-Bd. **37**, 495 (1914).

[7]) G. Tammann, Die Aggregatzustände 1922, 216.

[8]) O. Mügge, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. 1924, 6.

[9]) P. Niggli, Zeitschr. f. anorg. Chem. **95**, 64—78 (1916).

im Druckschatten von Pseudoeinsprenglingen[1]) in kristallinen Schiefern sich findenden Neubildungen. Hier kann sehr wohl bei Berührung der gepreßten Kristalle mit der umgebenden Lösung in mikroskopischen Räumen der Einfluß von Oberflächenenergien maßgebend gewesen sein, was in den Ansätzen von *Gibbs* und *Riecke* (s. o.) nicht Berücksichtigung finden kann.

Vor allen Dingen unterscheidet *O. H. Erdmannsdörfer*[2]) zwischen einer primären und sekundären Schieferung, je nachdem in stationären oder in differentiell bewegten Gesteinen sie sich ausgebildet hat. Nach ihm und *J. Königsberger* bezeichnet man Schiefer als polymetamorph, wenn beide Ursachen sich vereinen. Oft beobachtet man metamorphe Gesteine ohne alle Andeutung einer Schieferung, die kontinuierlich in solche mit gut entwickelter Schieferung übergehen[3]).

Die Annahme einer primär-fluidalen Schieferung von Gneisgesteinen und andern magmatischen Gesteinen wird ebenfalls oft aus dem Naturvorkommen abgeleitet[4]). Ueber die Teilbewegung in erstarrenden Magmen mit primärer Parallelstruktur siehe besonders *F. Becke*[5]). Besonders die geologischen Untersuchungen von *H. Cloos*[6]) haben gezeigt, daß die Einwirkung des Drucks auf erstarrende granitische Magmen in diesen eine gerichtete Teilbarkeit herbeiführt, welche eine primäre Parallelstruktur andeutet und einerseits zu ausgeprägt linear gestreckten Gesteinen vermittelt, andererseits zu echten „Eruptivgneisen". Durch sekundäre Veränderungen können dann solche Eruptivgneise oft schwer unterscheidbar werden von regionalmetamorphen kristallinen Schiefern.

Ueber die sekundäre Parallelstellung von Gesteinsgemengteilen infolge eines ungleichförmigen Drucks (Streß) siehe die Ansichten von *O. Mügge*[7]); die klastische Zermahlung ist besonders in den Myloniten stark entwickelt[8]).

Ueber die bruchlos-plastische Umformung der Gesteine ist seit den grundlegenden Untersuchungen von *A. Heim* (1878) auch in der neuesten Literatur eine Fülle von Beobachtungsmaterial zusammengetragen worden[9]). Allgemeines siehe auch bei *L. Milch*[10]); vor allem siehe dessen ausführliche Erörterungen und Experimente über die Plastizität des Steinsalzes[11]), in

---

[1]) Ueber diese Schieferungshöfe siehe die Arbeit von O. Mügge, Zeitschr. f. Krist. **59**, 372f. (1924), und weiter unten unter Kristallisationsschieferung.

[2]) O. H. Erdmannsdörfer, Centr.-Bl. f. Min. 1918, 183—185.

[3]) So bei H. P. Cornelius, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 1—11.

[4]) So z. B. in den schiefrigen Laven des Quilotoa, nach W. Bergt, Veröffentl. d. Mus. f. Länderk. (Leipzig 1914), H. 13, 37—52.

[5]) F. Becke, Fortschr. d. Min. **5**, 266ff. (1915).

[6]) H. Cloos, Mechanism. tiefvulkan. Vorgänge (Braunschw. 1921), 272.

[7]) O. Mügge, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. 1919, 78—100; siehe auch Zeitschr. f. Krist. **59**, 372ff. (1924).

[8]) Vgl. z. B. H. von Philipsborn, SB. d. Sächs. Ges. d. Wiss. **75**, 38—57 (1923); O. H. Erdmannsdörfer, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **50**, 310 (1923).

[9]) Siehe A. Heim in der Geol. d. Schweiz II, 1919, 93; F. D. Adams, J. A. Bancroft u. L. V. King, Journ. of Geol. **25**, 597—658 (1917).

[10]) L. Milch in Salomon's Grundz. d. Geol. 1922, 303ff.

[11]) L. Milch, N. Jahrb. f. Min. Beil.-Bd. **48**, 147—166 (1923); vgl. auch die röntgenographischen Untersuchungen von F. Rinne, Zeitschr. f. Krist. **59**, 244ff. (1924).

welchen die Abhängigkeit dieser Eigenschaft von der Temperatur und der Umgebung (besonders in Lösungen) eingehend behandelt wird (vgl. S. 124). An diese Untersuchungen schließen sich diejenigen von *G. Tammann*[1]) über die Plastizität im Zusammenhang mit der Ausflußgeschwindigkeit unter Druck an[2]). Besonders aber haben die Forschungen von *O. Mügge* und *A. Geller*[3]) (vgl. Fig. 52 u. 53) in hohem Grade gezeigt, wie der Fließdruck von einfachen

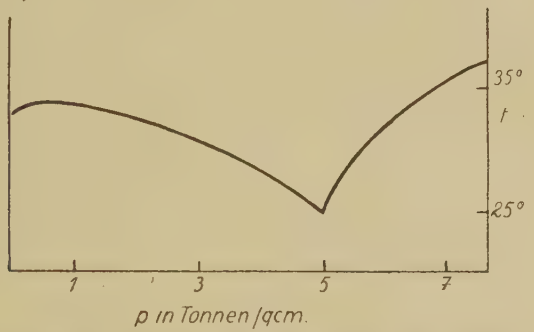


Fig. 52 Schmelzkurve des Glaubersalzes unter Druck (nach Mügge und Geller).

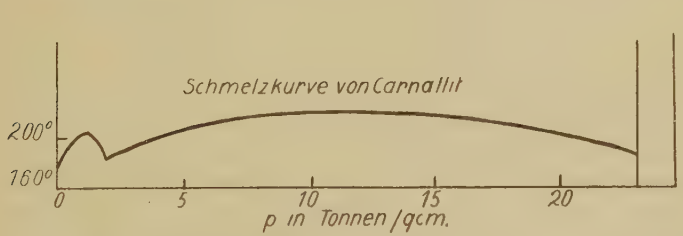


Fig. 53 Schmelzkurve des Carnallits unter Druck (nach Mügge und Geller).

und komplexen Salzmineralien (Steinsalz, Bischofit, Carnallit usw.) mit der Temperatur zusammenhängt, indem dieser z. B. für NaCl bei $t = 300^0$ C nur 3300 kg/qcm, bei -75^0 C aber 10100 kg/qcm beträgt; für $t = 800^0$ (beim Schmelzpunkt) wird er 0, für $t = -273^0$ aber ca. 20000 kg/qcm, ein Wert, der mit dem von *M. Born* theoretisch berechneten übereinstimmt. Das Fließen des Carnallits ist von keinerlei Schmelzung begleitet, sondern nur mit der Bildung von Gleitflächen. Von einem völlig bruchlosplastischen Umformen eines Gesteins durch Druckwirkung läßt sich nach *O. Mügge* indessen nicht in Strenge sprechen, da stets Krümmungen ein-

[1]) G. Tammann, z. B. Lehrb. d. Metallogr. 1914, 59—63.

[2]) Vgl. auch F. D. Adams, J. A. Bancroft u. L. V. King, Journ. of Geol. **25**, 597—658, mit ausführlichen mechanischen Betrachtungen. Siehe auch die Erörterungen von F. Rinne, Centr.-Bl. f. Min. 1924, 290ff.

[3]) O. Mügge u. A. Geller, Nachr. d. Gött. Ges. d. Wiss. math.-phys. Kl. 1924, 1—11; Zeitschr. f. Krist. **60**, 414—472 (1924).

zelner Lamellen, Entstehung von Hohlkanälen usw., mit ihr Hand in Hand geht. Auch bei stärksten Drucken wird Quarz nimmermehr plastisch [1]).

Eine besonders entscheidende Frage ist die nach der Entstehung der Kristallisationsschieferung, welche z. B. beim Quarz zu einer ganz bestimmten „Gefügeregel" zu führen pflegt *(Trener*; bestätigt von *B. Sander,* s. u.); es findet also eine Anpassung der Orientierung von Quarz an die Richtung der Streßkräfte statt, derzufolge sie (wie auch häufig der Granat) taflig sich ausbilden und so selbst in Glimmerplatten einwachsen. Wir fassen sie alsdann mit *W. Schmidt* [2]) als einseitig behindert kristalloblastisch auf. Die Gefügeregel ist nicht bei allen Mineralien kristalliner Schiefer so ausgeprägt; ist doch z. B. der Ottrelith in seiner Orientierung in diesen ziemlich unabhängig von der Orientierung des Streßdrucks [3]). *C. K. Leith* und *W. J. Mead* [4]) erörterte auch den Einfluß der „Kristallisationskraft" auf die Individualität der Auskristallisationen. Erst die Untersuchungen von *B. Sander* [5]) haben einen wesentlichen Fortschritt in der Deutung der Kristallisationsschieferung bringen können, nach denen die differentielle Bewegung der Teilchen in einseitig beanspruchten Gesteinen maßgebend ist für das sich ausbildende Gefüge. Bezeichnet man nach *B. Sander* die tektonisch-orogenetisch druckbeanspruchten Gesteine als Tektonite, so lassen sich diese gliedern in die Mylonite und Phyllite, bei denen eine tektonoklastische Teilbewegung stattfand, und in solche, bei denen eine Deformations-Kristallisationsschieferung im Sinne von *F. Becke* sich zeigte. Die Umkristallisation erfolgt dabei unter dem lösenden Einfluß der Gebirgsfeuchtigkeit so, daß in der Druckrichtung vom (überhitzten) Wasser Substanz aufgelöst, senkrecht dazu wieder abgesetzt wird (vgl. oben, durch die Vermehrung der potentiellen Energie des Kristalls in der Druckrichtung, S. 151). Das Weiterwachsen der Kristalle erklärt dabei *B. Sander* neben dieser Wirkung des *Gibbs—Becke*'schen Prinzips durch die größere „Wegsamkeit" in Richtung der Schieferungsebene. Von Interesse sind auch die von *W. Schmidt* [6]) studierten Eigenbewegungen der Porphyroblasten in kristallinen Schiefern, wie sie sich durch Abweichungen der Parallelanordnung der Einschlüsse in den Kristallen von derjenigen in deren Umgebung zu erkennen geben. Neuerdings hat auch *O. Mügge* [7]) die Notwendigkeit des Zusammenvorkommens eines plastisch-einschließenden und eines weniger plastischen Minerals zum Zustandekommen der Porphyroblastenstruktur betont, worauf auch erst die bei Neubildung oder Fortwachsung von Mineralien mit möglichst großen Unterschieden der

---

[1]) O. Mügge u. H. Rose, N. Jahrb. f. Min., Beil.-Bd. **48**, 150 (1923).
[2]) W. Schmidt, SB. d. Wien. Akad. d. Wiss. **126**, 515—538 (1917).
[3]) O. Mügge, N. Jahrb. f. Min. 1918, 82f.
[4]) C. K. Leith u. W. J. Mead, Journ. of Geol. **23**, 600—607 (1915).
[5]) B. Sander, Tscherm. Min. Mitt. **30**, 1912; **33**, 547—557 (1915); Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanst. **64**, 567—634 (1915) usw.; Verhdl. d. K. K. Geol. Reichsanst. 1914, 82—99; 1916, 47—53; desgl. 1923, Nr. 4, und vor allem Jahrb. d. Geol. B.-A. **74**, 183—253 (1923).
[6]) W. Schmidt, SB. d. Wien. Akad. vom 2. 5. 1918; u. a. auch A. Heim, Geol. d. Schweiz II, 1919, 101.
[7]) O. Mügge, Zeitschr. f. Krist. **59**, 366—374 (1924).

Wachstumsgeschwindigkeiten in verschiedenen Richtungen (womit große Unterschiede der Kohäsion verbunden zu sein pflegen) die Schieferungserscheinungen insgesamt bedingen. Zugleich muß der mechanische Vorgang langsamer verlaufen als der chemische der Kristallisation. Ueber eine gewisse Unabhängigkeit der Paralleltexturen von der Kristallisation siehe *H. P. Cornelius*[1]).

Sehr verbreitet sind ascendent-hydrothermale Mineralbildungen im Verbande mit dislokationsmetamorphen Umbildungen eines Gesteins, wie sie sich an den so charakteristischen Trümern und Schnüren von Quarz und Albit in metamorphen Schiefern ausprägen. In diesem Fall ist die Albitisierung eine selbständige Entwicklungsphase in der Ausbildung der kristallinen Schiefer[2]). Auch pneumatolytische Einflüsse sind unverkennbar, so nach *Preiswerk*[3]) in den Skapolithen usw. des Binnentals, nach *H. P. Cornelius*[4]) in gewissen Erscheinungen der Ostalpen.

Ueber die Neubildungen in kristallinen Schiefern als Kristalloblasten oder Porphyroblasten ist eine große Zahl neuer Beobachtungen veröffentlicht; insbesondere siehe über Sericitbildung *F. H. Lahee*[5]); schöne Beispiele bei *A. Heim*[6]); ferner komplizierte chemische Reaktionen bei solchen Neubildungen in metamorphen Gesteinen siehe *H. Backlund*[7]). Die typische Mineralführung kristalliner Schiefer, wie sie sich durch Umwandlung von primären Gesteinen und Mineralien ergibt, hat *A. Heim*[8]) in vorzüglichen Tabellen zusammengestellt; siehe auch schöne Uebersichtstabellen bei *P. Niggli*[9]), in denen die Volumbeziehungen eingehend erörtert sind.

Völlig neuartige Beziehungen über die Natur der kristallinen Schiefergesteine zu den magmatischen und den Bildungen großer Erdtiefen stellen die Studien von *P. Eskola*[10]) ins Licht, worin er seine Untersuchungen über die Eklogite Norwegens beschreibt. Schon vordem hatte derselbe Autor[11]) den Zusammenhang der Tiefenstufen metamorpher Mineralparagenesen in Fortsetzung der früheren Anschauungen von *F. Becke*, *P. Grubenmann* u. a. eingehend erörtert. Hierbei ergab sich die interessante Tatsache, daß eklogitische Gesteine sowohl einer metamorphen wie einer eruptiven Facies (Griquait) angehören können, so daß sie in einem Fall metamorph aus Gabbronen entstanden, im andern Falle als echte Eruptivmasse gebildet

---

[1]) H. P. Cornelius, Centr.-Bl. f. Min. 1921, 1—11; siehe auch R. Staub, Viertelj.-Schr. d. Naturf. Ges. Zürich **60**, 71 (1915), und **65** (1920).

[2]) So z. B. bei K. Schloßmacher, Jahrb. d. Preuß. Geol. Landesanst. **38**, I, H. 3 (1919); **40**, I, H. 3 (1920); Mon.-Ber. d. Deutsch. Geol. Ges. **72**, 306f. (1920), an umgewandelten Eruptivgesteinen des Vordertaunus beobachtet; siehe auch B. Sander, a. a. O., besonders Jahrb. d. K. K. Geol. Reichsanst. **64**, 567—634 (1914).

[3]) Preiswerk, Verhdl. d. Naturf. Ges. (Basel 1917).

[4]) H. P. Cornelius, Centr.-Bl. f. Min. 1923, 23.

[5]) F. H. Lahee, Journ. of Geol. **22**, 500—515 (1914).

[6]) A. Heim, Geol. d. Schweiz II, 1919, 99ff.

[7]) H. Backlund, Geol. Fören. Förhdl. **43**, 383—395 (1919).

[8]) A. Heim, loc. cit. 105, 109, 110.

[9]) P. Niggli, Gesteinsmetam. I, 1924, 106f.

[10]) P. Eskola, Vidensk. Selsk. Skrift. math.-natw. Kl. 1921, Nr. 8.

[11]) P. Eskola, Norsk Geol. Tidsskr. **6**, 144—194.

worden sind. Die Eklogitknollen in Kimberlit, welche schon früher als Bildungen großer Tiefe erkannt worden sind, weisen besonders auf die primäre Natur solcher Eklogite hin; *P. Eskola* faßt sie als Bruchstücke eines größeren Körpers von Eklogit auf. In geringeren Tiefen ist dann der Uebergang der Eklogitgesteine in solche von Amphibolitfacies typisch (Facieswechsel während der Kristallisation). Die Anschauungen von *P. Eskola* hat dann *V. M. Goldschmidt*[1]) verwertet bei seiner Theorie, nach welcher die Erdkruste außer ihrer äußersten Silikathülle (Dichte 2,8) eine Eklogitschale trägt, welche komprimierten femischen Gesteinen entspricht (D. 3, 6—4), auf die dann erst eine oxydisch-sulfidische Schale (D. 5—6) folgt, schließlich der Metallkern. Die Verknüpfung der Tiefe einer solchen Eklogitschale (ca. 120—1200 km) mit den genetischen Bildungsbedingungen des Diamanten (aus den Gleichgewichten des Systems FeO—C) führt zu einer Theorie der Entstehung des Diamanten in diesen primären Eklogiten, durch deren Emporreißen in den Kimberlit-pipes dieses so rätselhafte Mineral in seinem Naturvorkommen erklärt wird. Die Studien von *V. M. Goldschmidt*[2]) werden in Zukunft zweifellos eine wichtige Grundlage zur Erklärung auch der tiefenmetamorphen Gesteine bilden.

[1]) V. M. Goldschmidt, Vidensk. Selsk. Skrift. 1922, Nr. 10.

[2]) V. M. Goldschmidt, so auch seine neueren, loc. cit. 1923, Nr. 3; Die Naturwiss. 1922, Heft 42.

NAMEN-REGISTER

Aarnio, B. 119
Adams, F. A. 149
— F. D. 153, 154, 155
— L. H. 2, 3, 16, 90, 97, 129, 141, 142
Adolf, G. 130
Ahlers, L. 65
Allan, J. A. 44
Allen, E. T. 16, 52, 59, 81, 94, 97, 99, 100, 146
Allendorf, H. 7
Alterthum, H. 142
Amadori, M. 63, 93
Ambronn, H. 116, 120
— R. 11
Anders, W. 126
Andersen, O. 37, 44, 63, 64, 68
Anderson, J. S. 116
Andrée, K. 122, 150
Andrew, J. H. 142
Antropoff, A. von 89
Archibald, E. H. 133
Arendt, O. 117
Arlt, H. 150
Arpi, R. 7
Arrhenius, Sv. 136
Aten, A. H. W. 16
Atterberg, A. 117
Aubel, E. van 8
Aurousseau, M. 144

Bachmann, W. 116
Backlund, H. 76, 157
Bäckström, H. L. J. 129
Bailey, P. L. 138
— R. K. 115
Bakhuis-Roozeboom 1, 62, 64, 66, 88, 90, 95
Balarew, D. 145
Baldauf 150
Ballò-Dittler 58
Bancroft, J. A. 154, 155
Bär, O. 130, 131
Bardwell, D. C. 39, 113
Barrell, J. 141, 150, 151
Barringer, D. M. 38
Barlow, A. E. 21, 149
Barus, C. 82
Basselt, R. 63
Bauhans, H. 126
Baur, E. 41
Bayley, B. L. 113
Beck, R. 102
Becke, F. 22, 59, 148, 154, 156, 157
Becker, E. 52
— G. 125
Beckmann, E. 16
Behr, F. M. 130
Bělař, Marie 112, 138
Bemmelen, J. M. van 116
Bendig, M. 95
Benedicks, C. 14, 113
Benson, W. N. 102, 112
Berg, C. 122
— G. 94
Bergdahl, B. 88
Bergt, W. 154
Berwerth, F. 52
Beutell, A. 86, 92, 93, 103, 105, 106, 107, 108, 141
Beyersdorfer, P. 20
Beyschlag 28, 102
Bichowsky, F. R. von 85
Birnbräuer, E. 4
Blanck, E. 119
Blaschke, K. 105, 108
Blasdale, W. C. 133
Bochet, L. 88
Bodländer 115
Boeke, H. E. 3, 26, 27, 41, 53, 63, 72, 73, 75, 76, 129, 141, 142, 143
Böggild, O. B. 56, 91
Bogitsch, B. 34
Bohr, N. 10, 19
Böhm, J. 99, 111, 118
Borgström, L. H. 2, 78, 92, 149
Born, A. 132
— M. 10, 123, 154
Bornemann, K. 14, 92, 94
Bowen, N. L. 3, 7, 8, 12, 13, 26, 42, 43, 44, 45, 55, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 73, 99, 105, 141, 144, 145, 148
Bradley, W. M. 58, 93, 131
Brady, F. L. 19
Bragg, W. H. 65
— W. L. 20

Braun, A. 123
Brauns, R. 14, 17, 23, 63, 77, 78, 100, 148, 149
Bridgman, P. W. 4, 16, 17, 139, 140, 153
Brinkmann, Marg. 97
Broderick, T. M. 100
Brögger, W. C. 77, 147, 148, 149
Brouwer, H. A. 64, 72, 145, 146
Brown, T. C. 120
Bruhns, W. 125
Brun, A. 80, 84, 87
Brunhöver, K. 137
Brunton, St. 51
Bucher, W. H. 120
Buddington, F. A. 64, 77, 102
Budnikoff, P. P. 134
Bühler, H. A. 101
Bunting, E. N. 82
Burgess, G. K. 37, 52
Bütschli, O. 115
Byvoet, J. M. 50

Cahn, L. 23
Calvert 86
Campbell, E. D. 48, 63
Cantor, M. 9
Carpenter, Cl. D. 133, 142
Cavazzi, A. 110
Cesaro, G. 37
Chappel 142
Chassevent, L. 134
Chaudron, G. 36, 51, 84
Chevenard, P. 24, 48, 52
Cissarz, A. 97
Clark, J. D. 120
Clarke, F. W. 27, 54, 77, 130
Cloos, H. 154
Cohen, E. 40, 104
Colony, R. J. 102
Cornelius, H. P. 154, 157
Correns, C. W. 114, 118
Coster, de 47
Crenshaw, J. L. 52, 99, 100
Crittenden, E. T. 25
Czochralski, J. 4, 152

Daly, R. A. 13, 87, 139, 148
D'Ans, J, 132, 133, 134
Danvillier 47
Darby, H. 11
Day, A. L. 1, 2, 13, 16, 34, 47, 83, 97, 125
Dean, R. S. 142
Debije, P. J. 39, 40, 114, 127
Delgrosso, M. 132
Denecke, W. 41, 109
Desch, C. H. 5, 16
Dewey, F. P. 141
Dieckmann, T. 51, 62
Diethelm, A. 84
Dittler, E. 66, 115, 117
Dobrowolski, A. B. 37
Doelter, C. 10, 40, 47, 58, 59, 72, 111, 112, 119, 138
Dorp, G. C. A. van 27
Drägert, W. 18
Duboin, A. 57
Duparc, L. 38, 65

Eastman, E. D. 84, 86
Ebler, E. 117
Eckermann, H. van 43, 87, 149
Eggert, S. 11, 18
Ehrenberg, P. 112, 119
Ehringhaus, A. 113, 114
Eichler, M. 126
Eilert, A. 12
Eisele, H. 42
Eitel, W. 12, 18, 25, 27, 41, 42, 43, 73, 76, 77, 83, 86, 100, 113, 129, 142, 143, 144, 145, 146, 149
Elam, H. 142
Emmons, W. H. 100
Endell, K. 15, 16, 33, 80
Endo, Y. 66
Engel, C. P. 132
Erdenbrecher, A. H. 98
Erdmann, E. 132
Erdmannsdörfer, O. H. 147, 149, 154
Esch, E. 58
Eskola, P. 45, 46, 62, 67, 145, 149, 157, 158
Eucken, A. 18
Evans, R. M. 84, 86
Ewald, P. P. 21
— R. 17, 18

Fabre 91
Fajans, K. 42
Falck-Muus, R. 120
Falcke, V. 40
Falckenstein, Vogel von 83
Faust, O. 8
Fedorow, E. S. 20, 65
Feild, A. L. 7
Fenner, C. N. 14, 15, 32, 34, 81, 91, 98,
Ferguson, J. B. 3, 11, 14, 32, 37, 44, 59, 60, 61, 64, 80, 82, 83, 84, 85
Fersmann, A. 23
Feustel, R. 9
Fonzes-Diacon, H. 91
Foote, H. W. 58, 114, 131
Footitt, F. F. 81, 82
Forcrand, de 41
Ford, W. E. 76
Forestier, H. 36, 51, 84
Forrer 52

Foshag, W. F. 137
Foussereau 8
Foye, W. G. 92, 148
Fränkel, W. 141
Frech, F. 132
Freundlich, H. 112, 117
Fricke, R. 111, 118
Friedel, G. 40
Friedrich, K. 92
Fulda, E. 122

Gale, H. S. 132, 137
— W. A. 133
Gans, R. 18, 108
Gamett, J. A. 143
Gaubert, P. 23, 24, 39
Gaudefroy, C. 134
Gautier, A. 91
— P. 152
Geiss, W. 152
Geller, A. 19, 136, 137, 138, 153, 155
Geloso 117
Gemsky, H. 26
Gerlach, W. 40
Germs, H. C. 24
Gessner, H. 103
Gibbs, W. 1, 123, 151, 154, 156
Giua, M. 132
Given, G. 119
Glasenapp, M. von 134
Glöckner, F. 138
Goerens, P. 16, 52
Goldsberry, J. B. 94
Goldschlag, M. 80
Goldschmidt, V. 23
— V. M. 6, 13, 28, 29, 30, 31, 39, 47, 79, 93, 101, 113, 145, 146, 147, 148, 152, 158
Gomperz, E. von 4
Goodchild, W. H. 102
Gossner, B. 72, 73, 75, 139
Gothe, F. 110
Gottschalk, V. H. 101
Götz, C. 130
Goudriaan, F. 89
Graf, W. 118
Grahmann, W. 16, 24
Gramont, A. de 87
Grandadam, R. 89, 91
Granigg, B. 51
Greig, J. W. 3, 42, 43, 144
Grevemeyer, C. F. 111
Grimm, H. G. 20, 21, 23
Gropp 138
Gross, N. 126
— R. 5, 37, 124, 126, 142
Grossmann, R. 16, 56
Großpietsch, O. 63, 65, 69
Groth, P. 22
Grout, F. F. 75
Grubenmann, P. 54, 60, 139, 150, 157
Grünberg, K. 143
Guertler, W. 25, 95, 96, 113
Guild, F. N. 95
Günther, P. 18, 129
Günther-Schultze, A. 107, 109

Haardt, W. 148
Haber, F. 83
Hachmeister, K. 86, 88
Hackspill, L. 89, 91
Hadding, A. 55, 56
Haga, H. 14
Hähnel, O. 88, 109, 110, 128
Haigh, B. P. 123
Hall, R. E. 133
Hallimond, F. A. 61
Hamberg, A. 109
Hammer, W. 101
Hanemann, H. 2
Hänni, P. 39
Harbette, J. 22
Harbort, E. 138
Harker, A. 13
Harkins, W. D. 29
Harrassowitz, H. 109, 119
Hasselblatt, M. 6, 19, 23, 151
Hedvall, J. A. 143, 145, 153
Heide, F. 127
Heike, W. 93
Heim, A. 150, 154, 157
Helderman, W. D. 90
Heller, W. 40
Helmholtz, H. 152
Hempel, W. 80, 82
Hengstenberg, O. 92
Henning, F. 3
Henrich, F. 113
Henrijean, E. 114
Hentze, E. 124
Herzenberg, R. 68, 69
Herzfeld, K. F. 22
Heuse, W. 35
Hevesy, G. von 47
Heydweiller, E. 8
Hibsch, J. E. 105
Higgins, R. 142
Himmelbauer, A. 79, 115
Hirose, M. 112
Hissink, O. J. 108, 115, 119
Hoechberg, A. 6, 8, 11, 14
Hoff, J. H. van't 103, 132, 133, 134
Höfer, H. von 115
Hofmann-Degen, K. 64
Hofmann, K. A. 40, 87
Högbom, A. G. 149
Holborn, W. 2
Holden, E. F. 17, 112

Holmes, A. 28
— H. N. 122
Holmqvist, P. J. 57, 58
Höschele, K. 87
Hostetter, J. C. 13, 16, 34, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 128, 151
Houben, H. 141
Houdremont, E. 51, 62
Hoyt, S. L. 95
Hubbard, G. D. 119
Huber, H. 95
Hückel, E. 123
Hudson, W. E. 142
Hulett, G. A. 104
Hummel, K. 123

Irmer, W. 146
Isaac, E. 38

Jackson, D. 89
Jaeger, F. M. 2, 3, 8, 11, 14, 24, 46, 47, 48, 58, 96
Jaggar, T. A. 81
Jakob, J. 12, 87
Jänecke, E. 3, 16, 25, 26, 27, 37, 54, 88, 132, 133, 134, 135, 136, 137
Jellinek, K. 84
Jette, E. R. 133
Johnsen, A. 5, 17, 19, 22, 68, 87, 90, 126, 146
Johnston, J. 17, 52, 103, 109, 110, 127, 128, 141, 142, 153
Jolibois, P. 134
Jung, J. 146
Junk, H. 108, 111
Jurich, E. 81

Kaascht, E. 20
Kalb, G. 56, 95, 125, 141
Kallenberg, St. 43, 59, 62
Kalkowsky, E. 113
Kanolt, C. W. 36, 37
Kapma, B. 11
Katz, J. R. 114, 115
Katzer, F. 119
Keehan, L. W. Mc 36, 115
Kellbery, J. N. 37
Kelley, S. F. 11
Kendall, J. 25
King, L. V. 154, 155
Kirchhof, F. 112
Klausing, Fr. 15
Klein, A. 43
— C. 56
Kleinhanns, K. 124
Klemm, G. 42, 144
Kling, P. 137
Klooster, H. S. van 2, 46, 47, 48, 58, 96
Knopf, A. 121
Köhler, A. 66
Kohlrausch, F. 4
Kohlschütter, V. 39, 40, 114
Kolb, R. 56
Kohner, K. von 143
Königsberger, J. 11, 98, 99, 102, 154
Kopaczewski, W. 114
Körber, F. 14
Kornfeld, G. 108
Kossel, W. 76
Köstermann, E. 20, 23
Kozu, Sh. 55, 66
Kraus, A. 11
— E. H. 94
Kretschmer, F. 149
Krüger, W. 126
Krull, O. 132
Krusch, P. 28, 102, 120
Kruyt, H. R. 90, 114, 115
Kunitz, W. 75
Kurnakow, N. S. 133
Küster, F. 121
Kyropoulos, S. 35

Laar, J. J. van 41
Lachmann, R. 130
Lacroix, A. 34, 51, 72, 78, 87, 91, 104, 108, 111, 119, 125, 144, 146, 149, 150
Lahee, F. H. 157
Laitakari, A. 78, 149
Landschütz, P. 7
Lang, R. 109, 119, 127
Langmuir 20
Lapparent, J. de 57
Larsen, E. S. 77, 119
Laue, M. 22
Lauschke, G. 37
Lebeau, P. 4, 40
Leblanc, M. 126
Lebrun 126
Lechatelier, H. 27, 32, 143, 151
Lecrenier, A. 10
Ledoux, M. A. 22, 72
Lehmann, O. 23, 152
— W. M. 99
Leith, C. K. 139, 156
Leitmeier, H. 1, 120, 130, 131
Lemberg, J. 57, 78, 108
Lenher, V. 101, 109
Leroux, A. 93
Lewis, G. N. 85
Liebisch, Th. 26
Liebmann, A. 8
Liempt, J. A. M. van 42, 152
Liesegang, R. E. 112, 116, 121, 125
Linck, G. 114, 121, 130, 137, 145
Lind, S. C. 39, 113
Lindgren, W. 102, 103
Livingston, J. 9

Lloyd, P. V. 103, 110
Loebe, R. 52
Loewinson-Lessing, P. 13
Lombard, R. H. 86, 100, 146
Lorenz, F. 92
— L. 143
— R. 8, 11, 14, 113
Löwenstein, E. 4
Lukkala, O. J. 119
Luzi 40

Mackay-Herniot 132
Mackenzie, J. D. 104
Magnussohn, H. 46, 59
Mäkinen, E. 55, 58, 65, 66, 69
Mallard, E. 105
Manchot, W. 143
Marc, R. 117, 123, 125, 143
Marcau, A. 89
Marin, A. 132
Mary, A. 123
Masing, G. 19, 21, 125, 126, 152
Matignon, C. 47, 48
Matsubara, A. 86, 147
Matzke, M. 103
Maury, J. 125
Mead, W. J. 139, 156
Meccacci, F. 137
Mecklenburg, W. 125
Meinzer, O. E. 97
Meißner, F. 1, 58
— L. 95, 96
Meldrum, W. B. 24
Menaul, P. L. 120
Merrill, G. P. 52
— H. B. 109
Merritt, G. E. 35
Merwin, H. E. 3, 14, 16, 17, 32, 36, 37, 44, 47, 51, 53, 59, 60, 61, 63, 94, 98, 99, 100, 103, 105, 120, 127, 128, 144
Metz, A. 81
Meulen, P. A. van der 111
Meunier, St. 38
Meyerhoffer, W. 133
Michaelis, W. 120
Michaelis-Rona 110
Michel, H. 43, 44
Mielke, H. 126
Miething, H. 41
Milch, L. 12, 124, 147, 150, 154
Miller, H. K. 25
Miser, H. D. 39
Mitchell, A. E. 130, 143
Mixter, W. G. 17
Moesveld, A. L. Th. 104, 123, 150
Moissan, H. 40
Molengraaff, G. A. F. 121
Möller, H. 5
— W. 121
Moore, N. P. 100
Morey, G. W. 1, 2, 55, 56, 57, 82, 88, 89, 91, 97, 98, 99
Morgan, J. J. 89
— R. 9
Morozewicz, J. 53, 54
Moye, A. 134
Mugdan, Sus. 88, 89
Mügge, O. 5, 15, 16, 17, 19, 36, 37, 47, 120, 127, 128, 136, 137, 138, 151, 152, 153, 154, 155, 156
Müller, W. J. 98, 99
Mulert, O. 17, 55
Murdoch, J. 94
Murgoci, G. 75
Muthmann, W. 22
Myers, W. M. 94
Mylius, F. 3

Nacken, R. 4, 5, 16, 25, 63, 87, 107, 121, 146
Nakamoto, M. 36, 48, 51
Navias, L. 34
Nernst, W. 8, 18, 41, 83, 103, 122, 123, 126, 129, 142
Neumann 2
— B. 134
— F. 43, 144
Niclassen, H. 99, 111, 118
Nielsen, O. 62
Niggli, P. 12, 13, 14, 26, 27, 28, 36, 51, 54, 59, 60, 65, 66, 68, 76, 77, 80, 87, 89, 90, 91, 92, 97, 98, 99, 102, 103, 109, 121, 122, 124, 125, 134, 136, 139, 145, 146, 150, 151, 152, 153, 157
Nissen, A. 95
Noyes, A. A. 103, 126

Odén, Sv. 112
Oebekke, K. 100
Orstrand, C. E. van 97, 141
Ostwald, Wi. 5
— Wo. 103, 112, 114, 117, 151
Othmer, P. 4

Palmer, Ch. 92, 101
Pamfil, G. P. 80
Pape, W. 111
Parravano, N. 27
Pardee, J. T. 119
Parsons, C. A. 38
— C. H. 39
— A. L. 105
Pascal, P. 108
Paul, F. 44

Peck, A. B. 43, 144
Pélabon, H. 95
Pellini, G. 93, 95
Perrier, A. 33, 34
Pfann, E. 52
Pfeiffer, P. 87
Philipsborn, H. von 154
Picon, M. 4, 40
Planck, M. 4
Plüß, M. 7
Podszus, E. 104
Polanyi, M. 4
Ponomareff, J. 4, 91
Poppe, W. 124, 126
Posnjak, E. 16, 94, 98, 120
Preiswerk, H. 157
Przibram, K. 112, 138
Puchner, H. 125
Pukall, W. 98
Pulfrich, M. 130, 131
Pusch, L. 110

Quensel, P. 66, 148
Quercigh, E. 127

Ramann, E. 108, 110, 111, 112
Ramdohr, P. 80, 144
Randall, M. 85
Rankin, G. A. 26, 36, 37, 42, 44, 47, 51, 53, 54, 63, 144
Rassow, E. 142
Rayleigh, Lord 10
Rebbeck, J. W. 11
Redlich, K. A. 131, 132
Reggal, J. 94
Reinders, W. 51, 83, 84, 89, 118
Reinhard, M. 65
Reis, O. M. 121, 128
Reitstötter, J. 115
Reusch, H. 117
Rhyn, A. J. van 117
Ribaud, G. 40
Richards, Th. W. 24, 25
Riecke, E. 151, 154
Ries, H. 117
Riesenfeld, H. 142
Rimann, E. 149
Rinde, H. 114
Rinne, F. 6, 14, 17, 20, 22, 23, 24, 34, 37, 40, 53, 56, 59, 76, 93, 105, 106, 107, 111, 115, 116, 118, 123, 124, 126, 127, 135, 136, 137, 139, 141, 142, 150, 152, 153, 154, 155
Ritter, F. 42
Ritzel, A. 23, 122
Roberts, H. S. 2, 3, 51, 89, 90
Roberts-Austen 141
Röchling, C. 40
Rodebush, W. H. 133
Rodt, V. 120
Rogers, A. F. 63, 94, 100, 102, 112, 120, 144
— G. S. 138
Rohland, P. 118
Röhler, H. 122
Roos, G. D. 18
Rose, H. 16, 156
Rosenkränzer, F. 103
Roß, C. S. 39
Rößler, H. 95
Roth, W. A. 41
Rothmund, V. 108
Roux, H. 33, 34
Royer, M. 24
Rózsa, M. 132, 136, 137, 138
Rubio, C. 132
Ruer, R. 48, 51, 52
Ruff, O. 3, 37, 38, 88
Runge, L. 141
Rüst, E. 23
Ryschkewitsch, E. 42

Sabot, R. 69
Sachs, G. 152
Sakao, T. 112
Saldau, P. 93, 95
Salomon, W. 122, 154
Samoiloff, J. W. 143, 145
Sander, B. 156, 157
Sapper, K. 80
Sauerwald, F. 7, 14
Saunders, A. P. 133
Saxton, B. 114
Sborgi, U. 137
Schad, H. 94
Schade, H. 120
Schaefer, Cl. 76
Schaeling, K. 15
Schäfer, W. 25
Schaller, W. T. 51, 54, 77, 115
Schaum, K. 4, 15, 116
Scheel, K. 35
Scheffer, F. E. C. 86, 90
Schenck, R. 40, 41, 85
Schenker, E. 41
Scherrer, P. 39, 40, 114, 118, 127
Schetelig, J. 6, 78
Scheumann, K. H. 68, 106, 145
Schibbe, G. 11
Schjelderup, H. 107
Schlaepfer, M. 97
Schleede, A. 4, 94
Schloßmacher, K. 157
Schlumberger, C. M. 11, 97
Schmidt, O. 119
— W. 152, 156
Schneiderhöhn, H. 25, 36, 93, 94, 97, 100, 102, 108, 110, 119

Schnorr, W. 124, 126
Scholich, K. 26
Schönert, K. 141
Schoppe, G. 93, 95
Schreinemakers, F. A. H. 1
Schröder, G. 124
— R. 23
Schroeder, Fr. W. 43
Schubert, M. 76
Schulz, K. 109
Schulze, G. 8
Schumacher, E. E. 11
Schumoff-Deleano, V. 63
Schuster, E. 149
Schwarz, M. von 100
— R. 19, 47, 62
Schwartz, G. M. 105, 119
Schwers, F. 129
Scott, H. 52
Sederholm, J. J. 65, 102, 148, 151
Seidl, E. 136
Seifert, H. 125
Sella, A. 124
Seto, K. 55
Seyer, E. A. 103
Seyler, C. A. 110
Shepherd, E. S. 37, 42, 44, 77, 80, 81
Shipley, J. W. 81
Sichling, K. 41
Sieverts, A. 81
Sill, H. F. 104
Silverman, A. 113
Simek, A. 3, 48, 58, 143
Simon, F. 18
— L. J. 8
Simons, J. 87
Sims, Cl. E. 43
Singewald, J. T. 51
Sirovich, G. 27
Sjögren, H. J. 38, 147
Skeats, E. W. 130, 131
Smith 86
Smits, A. 15, 17, 22, 23, 50
Smoluchowski, M. von 113, 115
Smyth, F. H. 2, 3, 16, 89, 90, 129, 142
Sommer, W. 89
Sosman, R. B. 2, 13, 15, 16, 34, 35, 36, 37, 38, 49, 50, 51, 69, 97, 102, 128
Spangenberg, K. 127, 131
Spencer, L. J. 53
Sprengel, A. 108
Spurr, J. E. 102
Stansfield, J. S. 121
Stark, M. 59
Staub, R. 157
Steidtmann, E. 130
Steiger, G. 77, 119
Steinmetz, H. 21, 125, 150
Stelzner-Bergeat 102
Stephenson, E. A. 98, 104, 108
Stern, O. 10, 18
Stevanovic, S. 47
Stoecker 10
Stokes 99
Stoklossa, G. 106, 107
Stremme, H. 111, 119
Strohecker, F. 109, 110
Stumper, R. 110
Stumpf, F. 123
Sturm, H. 19
Stutzer, O. 39, 149
Sueß, F. E. 125
Sundius, N. 66, 75, 78, 79, 147
Sutton, J. R. 39
Svedberg, The 114
Swanson, C. O. 19, 26
Syrkin, J. K. 134

Taber, S. 125, 151
Thal-Jantzen, von 47
Tamm, O. 111, 119
Tammann, G. 1, 4, 5, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 25, 37, 38, 41, 52, 88, 91, 97, 101, 104, 106, 111, 141, 142, 151, 152, 153, 155
Tarr, W. J. 114, 129
Tatum-Long, E. 125
Terwen, H. 15, 17
Thiel, A. 42, 103, 109, 110
— G. A. 117
Thomassen, L. 47
Thomson, E. 35
Thugutt, St. 58, 108
Tiede, E. 4, 94
Tilghman, B. C. 38
Tolloczko, St. 126
Traube, J. 120
Treadwell, W. D. 83
Treis, K. 25, 26
Trener, G. B. 156
Trevor, T. G. 38
Tschermak, G. 67, 72, 107
Tschirwinsky, P. N. 28, 53, 66
Tubandt, C. 11
Tucan, F. 130
Tuyl, F. M. van 130, 131

Urbain 47

Vaillant, P. 11
Valentin, J. 26
Valentiner, S. 138
Valeton, J. J. P. 123, 126
Veen, A. L. van der 55, 57
Vegard, L. 22, 107
Veil, S. 49
Velde, L. 142, 146

Vesterberg, K. A. 98
Viola, C. 21
Vogt, J. H. L. 19, 28, 79, 102, 118
— Th. 91
Voigt, W. 124
Vorländer, D. 20
Vortisch, E. 25, 26

Wächtler, M. 116
Wagner, G. 20
— P. A. 38
Wallace, R. C. 130
Wallasch, H. 5
Walcott, C. D. 81
Walden, P. 51
Walker, T. L. 105
Walker-Cormack 110
Walther, J. 119
— K. 150
Walton, J. H. 123
Warburg, E. 2
Warren, C. H. 51
Wartenberg, H. von 83
Washburn, E. W. 6, 9, 34, 81, 82
Washington, H. S. 7, 27, 28, 44, 64, 67, 68, 72, 81, 88, 104
Watson, W. 88
— Th. L. 97
Wegner, R. 108
Wegscheider, R. 86, 151
Weich, A. 59
Weigel, O. 103, 105, 106, 107
Weinschenk, E. 40
Weiß 52
Weißenberger, G. 103
Wells 11
— R. C. 97, 100, 110, 128, 129
Wenk, W. 123
Wessels, H. 12
Westgren, A. 52, 115
Weston, E. M. 38
Wetzel, W. 138
Wever, F. 111, 118
Wheeler, W. C. 130
Wherry, E. T. 20, 21, 65, 67, 94, 123, 125
White, W. P. 3, 15, 17, 18, 33, 55, 60
Wiener, O. 116
Wietzel, R. 15, 17, 32, 34, 55
Wild, G. O. 112
Williams, G. A. 82
— W. E. 6
Williamson, E. D. 1, 17, 89, 103, 110, 127, 128, 153
Wilson, H. 43
Winchell, A. N. 21, 34, 60, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 77, 79
Wing Easton, N. 120
Winkler, L. W. 137
Winter, H. 121
Wintgen, R. 113
Wolff, W. 107
Wright, F. E. 60, 94, 145
Wroblewski, von 88
Wüstner, H. 82
Wyckoff, R. W. G. 20, 21, 65, 130

Young, S. W. 100

Zambonini, F. 20, 22, 58, 59, 63, 65, 72
Zemčužny, S. F. 133
Zemiatschensky, P. A. 123
Zies, E. G. 43, 81, 97, 100
Zoch, I. 108
Zsigmondy, R. 112, 115, 116
Zünckel, R. 80, 82

SACH-REGISTER

Aa-Lava 7, 81, 88
Abbau, chemischer 76, 127
Abbindung von Gips, Zementen 120, 134
Abkühlungskurven 2, 16, 18, 27, 143
Abröstung von Sulfiden 146
Abschreckungsmethoden 2, 98
Absorption von Gasen in Gläsern 81 ff., 107
— — in Zeolithen 107
Accesorien 28, 29, 79
Adsorption 117 f., 122 f., 125
Adsorptions-Isotherme 117, 123
Aktinolithisierung 102
Albitisierung 147
Alkaliaustausch 102, 147
Alkalizufuhr 102
Allotropie 15, 106
Altern gefällter Kolloidniederschläge 111
Amikronische Sole 114
Anchieutektische Kristallisation 19
Anchimonomineralische Kristallisation 19
Anisotrope Flüssigkeiten 123
— Teilchen in V_2O_5-Solen 118
Anomale Atomverteilung in Mischkristallen 23
— Mischkristalle 22, 23, 52
Anreicherung von Kupfer 100
Arsenide 92 ff.
Assimilation 13, 144, 147 ff.
Assoziation in Schmelzen 11, 15, 19, 35
Asterismus des gezogenen Steinsalzes 124
Atmophile Elemente 29
Atollbildung 131
Atomdurchmesser 65
Atomvolumina 29 f.
Atomwärme 18
Aetzfiguren, Aetzhügel 124
Auflösungsvorgang 126
Auftriebswage 13
Ausdehnung, thermische 109
Ausflockung von Kolloiden 114 ff.
Ausflußgeschwindigkeit von Metallen usw. 153, 155
Ausfrieren von Kolloiden 114
Ausscheidungssedimente 122 ff.
Basenaustausch, hydrothermaler 105, 108 f.
Belastungsmetamorphose 150
Bikarbonate 110, 128, 131
Bildungsbereich eines Sulfids 99
„Bildungsform" von Gelen 114
Bittersalzquellen 128
Bodenzeolithe 108
Borgehalt der Alumosilikate 87
— von Mineralwässern 91
Braun'sches Gesetz 104
Brown'sche Bewegung 114

Chalkographie 93 f., 97
Chalkophile Elemente 29
Chemische Konstanten 18
— Verwitterung 109
Cuprotypus (von Ionen) 29

Dampfdruck bei hohen Temperaturen 88 f., 91, 100
Dampfspannungsgleichgewichte der Zeolithe 106 f.
Deacon-Prozeß 83
Deformationsschieferung 156
Deformierte Tonsalzwürfel 152
Destillationstendenz im Magma 80, 87
Deuterische Umsetzungen 102
Diagenese 116, 128
Diaphtorese 102, 147
Dichte von Schmelzen 13 f.
Differentialapparate (für die dynamische Methode) 16
Differential-Tensimeter 133
Differentiation, magmatische 12 f., 19, 29, 79, 87, 92, 151
Differentielle Bewegung 154, 156
Diffussion 8, 12, 66
— in Gelen 121
— in Lösungen 122 ff., 126
— in metamorphen Gesteinen 141 f., 146, 158
Dilatometer 14, 132
Dislokations-Metamorphose 150, 152, 154
Dislozierte Reflexion 19
Dispersionen 112

Dissoziation, elektrolytische 8, 110
— stufenweise 103
— thermische 85, 86, 100, 142 ff., 146
Dolomitisierung 131
Doppelt-ternäre Gleichgewichte 133
Dreieckskoordinaten 133
Dreistoffsysteme 25 f., 89
Druckbomben und Drucköfen 3, 98
Druckfestigkeit 153
„Durchsinterung" 121
Dynamische Methode 2, 16

Edelgastypus (von Ionen) 29
Eigenbewegungen von Porphyroblasten 156
Einkristalle (von Metallen) 4
Einschmelzung 147 f.
Einseitiger Druck 151 ff.
Eisenthermitabbrände 43
Elastizitätsgrenze 151, 153
Elektrische Ladung der Kolloide 114
Elektrolytische Vorgänge i. Erzlagern 100 f.
— — bei Kaolinisierung 111
Endkörper der Auflösung 126
Endogene Kontaktmetamorphose 147 f.
Entgasung von Laven 81, 88
Entmischungen 24, 65 f., 68, 76, 97
Entmischungsdispersoide 113
Entmischungskurve 25
Entwässerung der Kolloide 116
— der Zeolithe 105 ff.
Eozoonstrukturen 121, 145
Epigene (nachmagmatische) Bildungen 87
Erde, Bau der Erde in Schichten 28, 79, 157 f.
Erdmetalle, seltene 29 f.
Erhitzungskurven 2, 16, 143
Erhitzungsmikroskop 16
Eruptivgneise 154
Erzlagerstätten 100 ff., 118
Erzmikroskopie 93
Erzschläuche 121
Erzwungen-homöotrope Zustände 152
Eutektische Punkte, Abhängigkeit vom Druck 19
Exhalationen, vulkanische 81, 84
Expositionsmethode 16, 32, 98

Facieswechsel während der Kristallisation 158
Färbungen, kolloide 112 f.
Fixpunkte zu Eichungszwecken 3
Fließdruck von Salzen 136 f., 138, 153, 155
Fließen der Metalle 152 f.
Flüchtigkeit der Alkalien 1
Fluidalstrukturen 154
Fluidität siehe Viskosität 6 ff., 81
Fluokarbonate 91
Fluorgehalt von Alumosilikaten 87
— von Mineralwässern 91
Flüssige Kristalle 123, 152
Flüssigkeitseinschlüsse in Mineralien 87, 90
Forcierte Zustände 152
Fraktionierte Kristallisationsdifferentiation 12 f., 64
Fumarolen 81

Gase im Magma 80 f.
— Löslichkeit in Schmelzen 81 ff.
— — in Zeolithen 107
Gaseinschlüsse in Mineralien 87
Gasgleichgewichte 83 ff.
Gasreaktionen, heterogene 84 ff.
Gefügeregeln 156
Gele 114 ff.
Glasige Verfestigung 4
Glasmeteoriten 120
Gleichgewichtslehre 1
Gleitvorgänge 152 f., 155
Gletschereis 142, 152
Gneisstrukturen 153
Gravitative Kristallisationsdifferentiation 12 f., 60
Gußstrukturen 152

Habitus der Kristalle 123
Hafnium 47
Haplobasaltisches Magma 67 f.
Haplodioritisches Magma 67 f.
Haplonephelinitisches Magma 68
Hartsalz 136
Hebelbeziehung 19
Heiße Quellen 97, 99
Heliumgasquellen 138
Heterogene Gasreaktionen 84 ff.
Hochofenprozesse 50, 85 f., 147
Homogenisierung heterogener Gemenge 66
Homöomere Umwandlungen 14
Homotaxiale Gittertypen 20
Hutbildungen 101, 119
Hybrides Gestein 148
Hydratation der Zeolithe 105
Hydrolytische Spaltung 103, 110 f.
Hydrothermale Abschreckungsmethode 98
Hydrothermal-Metamorphose im Salzgebirge 136
Hydrothermale Prozesse 87 ff.
— Synthese 97 ff.
Hysteretische Erscheinungen bei Kolloiden 116
— — bei Umwandlungen 15
— — der Wärmeleitfähigkeit 140
— — bei Zeolithen 106

Impfschwelle 5
Impfung, isomorphe 23
Inerte Komponenten 24
Injektionserscheinungen 148
Injektionsgneise 151
Innere Reibung s. Viskosität 6 ff.
Integrator nach Gans und Drägert 18
Ionendiffusion in Permutiten (Zeolithen) 109
Ionendimensionen im Gitter 20
Ionenprodukt 103
Irisieren 56
Isodimorphie 24
Isoelektrischer Punkt 115
Isoepitatic curves (Kurven gleicher Oberflächenspannung) 9 f.
Isokomen (Kurven gleicher Viskosität) 7
Isomorphie 19 ff., 65
Isotypie 22

Jahresringe in Anhydritsalzen 134
Juvenile Wässer 100

Kalisalzlagerstätten 132 ff.
Kalkdome 125
Kalorimeter 17
Kaltbearbeitung von Metallen 152 f.
Kaolinisierung 110
Kapillardruck in Gesteinen 141
Kapillare Steighöhe 8
Kapillaritätstheorie der Kolloidgele 116
Karbonyle 28, 40
Kaskadenprinzip (bei elektr. Oefen) 3
Katalysatoren 87
Kationenaustausch, oberflächlicher, auf Sulfiden 101
Katmai-Eruption 81
Keltium 47
Kernzahl und Rekristallisation 152
Kieseritregion 136
Kieselglas 34 ff., 82
Kilauea 81
Klastische Gesteine 154
Kluftmineralien, alpine 102
Koagulationstheorie nach Smoluchowski 113, 115
„Kohlenflecke" des Diamanten 39
Kohlengesteine 121
Kolloidmineralogie 112 ff.
Komplexe Ionen in Schmelzen 12, 87
— — in Lösungen 103
Komponenten der Magmen 27 ff.
Kompressibilität 153
Konkretionäre Bildungen 121
Kontaktbildungen 61, 149 f.
Kontaktmetamorphose 86, 100, 147 ff.
Koordinationslehre 87
Korallenriffbildung 131
Korngröße und Löslichkeit 104
Kornvergrößerung 141 f., 152
Kristalline Schiefer 150—158
Kristallisationsdifferentiation 12 f., 19, 67 f., 144
Kristallisationsfähigkeit 4
Kristallisationsgeschwindigkeit 4
— und Druck 6
Kristallisationskraft 125, 156
Kristallisationsschieferung 154 ff.
Kristalloblasten 156 f.
Kristalltracht 56, 124 f.
Kristallwachstum in Röhren 5
Kristallzuchtapparat nach Nacken 5
Kritische Entmischungspunkte 25, 80
— Erscheinungen in Mehrstoffsystemen 89 ff.
Kryohydrate 109, 133
Kugeldioritstruktur 141

Lateritbildung 110, 119
Lavasee Halemaumau (Kilauea) 80 f.
Legierungen, kolloidchemische Auffassung einzelner 113
Leitfähigkeit, elektrolytische 10 f., 107
bei der Umwandlung 16
— bei Zeolithen 107, 109
Lithophile Elemente 29
Löslichkeit und Druck 104
— hydrothermaler Mineralien 103
Löslichkeitsanisotropie 124
Löslichkeitsprodukt 103
Lösungsgenossen, Einfluß auf Kristallisation 123, 125

Magmatische Gase 80 ff.
Manganknollen der Tiefsee 121
Marine Sedimente 114, 122
Marmorisierung 141 f.
Massenisomorphismus 63
Massenwirkungsgesetz 108
Meerwasser 128, 130 f., 137 f.
Mehrstoffsysteme 26 f.
Metallnebel 113
Metamikte Mineralien 47, 93
Metamorphose 28, 101 f., 134 ff., 139—158
Metasomatose 28, 101 f., 131, 147
Methode des eintauchenden Zylinders 9
— der platzenden Bläschen 9
— des Tropfengewichts 10
Migmatite 148
Mikropoikilitische Bildungen 58
Mineraldrusen 99
Mineralisatoren im Magma 12, 87
Mineralneubildung unter Druck 153, 156 f.
Mineralwässer 114
Mischkristallbildung 19, 65, 90 f., 106
„Mitreißen" edlerer Elemente 101
Modifikationsänderungen 14 ff.

Molekulargröße gelöster Stoffe in Schmelzen 19
Morphotropie 22
Mylonite 154

Natronzufuhr 147 f.
Normale Atomverteilung in Mischkristallen 21
Normierte Metalle 3

Oberflächenleitung 11
Oberflächenspannung 5, 8 ff., 14, 123 f.
Oefen, elektrische 3
Oolithbildung 120
Opalescenz von Glas, Quarz 113
Ortsteinbildung 119
Oxydationszone in d. Erzlagerstätten 119 f.

Pahoehoe-Lava 7
Palingenese 151
Parallelstrukturen 154
Paramorphe Bildungen 150
Passivität des Eisens 101
Pegmatitische Bildungen 87 ff., 99
Permutite 107 ff., 116, 118
„Pipes" von Südafrika 39, 158
Plastizität 116, 124, 136, 152 ff., 155
Pneumatolytische Prozesse 102, 111, 147 f., 149, 157
Polarisation, galvanische 11 f.
Polymetamorphe Gesteine 154
Polymorphie 14 ff.
Polysymmetrie 55
Porphyroblasten 152 f., 156 f.
Portlandzement 48, 54
Porzellan 43
Posthume Umbildungen im Salzgebirge 136
Potentiometer 3
Prinzip von Le Chatelier 151
— von Ludwig-Soret 12
— von Poynting 151
Pseudoeinsprenglinge 154
Pseudogleichgewichte 15, 106
Pseudoklase 121
Pseudostalaktite 121
Pyrognomische Mineralien 5
Pyrohydatogene Bildungen 87
Pyrometamorphose 148
Pyrometer, optische 3

Quasihydrate (bei Zeolithen) 106
Quellsedimente, radioaktive Sorption 117
Quellung 114 f.

Racemkörper (bei Quarz) 36
Radioaktive Einwirkung 31, 39, 112 f., 138
Raumgitterstörungen 152
Reaktionsisochore 83
Reaktionsprinzipien (nach Bowen) 13, 60, 64, 68
Reaktionsränder 12, 141
Regel von Harkins 29, 31
Regelation 152
Regionalmetamorphose 150
Rekristallisation 141 f., 152 f.
Resistenzgrenzen 21
Resorption 58
Restmethode 133
Retrograde Metamorphose, Retromorphose 135
Reziproke Salzgleichgewichte 133 ff.
Rogensteinbildung 120
Rotations-Viskosimeter nach Washburn 6 f.
Rhythmische Fällungen 121

Saigerung 12
Salzauftrieb 135 f.
Salzdome 125
Salzecceme 136
Salzhüte 136
Salzhydrate 76
Salzlagerstätten 132—138
Salzsysteme mit sublimierenden Komponenten 88
Sammelkristallisation 153
Sanduhrstrukturen 23
Sattelpunkt 26, 92
Schaumstrukturen 5
Schieferung 153 ff.
Schieferungshöfe 154
Schlacken 7, 61, 64, 79
Schlangengipsbildung 134
Schmelzpunkte der Mineralien 1 ff.
— — Einfluß des Drucks 4, 19
Schmelzwärme 18
Schrumpfung 115
Schwellenwert, Schwellenzone der Ausflockung 115
Schwerpunktsbeziehung 26
Sedimentationsgeschwindigkeit in Schmelzen 7
Selektive Adsorption 117
Serpentinisierung 102, 112
Siderophile Elemente 29
Silikatmetasomatose 147
Sintervorgänge 145
Skapolithisierung 78, 102, 147 f.
Skarnbildung 149
Skelette 124
Sole 114 ff.
Sorption 117 f.
Spaltenfrost 109
Spannungsdoppelbrechung 115
Spannungsreihe 101
Sphärolithe 120
Stäbchendoppelbrechung 115
Stabilitätsfeld 99

Statische Methode 1, 16, 32
Stärke der Kiesel- und Kohlensäure 109 f.
Streß 153 ff.
Strukturisomorphie 20
Stufenregel 14, 41, 57
Sublimation 41 f., 88 f.
Sublimierter Schwefel auf Laven 85
Sulfide 92 ff., 99 ff.
Sulfosalze 96 f.
Syenitisierung 147
Synantektische Bildungen 65

Tektite, Glasmeteoriten 120
Tektonische Beanspruchung der Gesteine 152
Tektonite 156
Tektonoklastische Teilbewegung 156
Telechemische Substanzen 79
Temperaturmessung 2
Temperaturregulatoren (für elektrische Oefen) 3
Theorem der übereinstimmenden Zustände 14
„Thermobecher" 2
Thermodynamisches Potential 14
Thermoelemente 2
Thermogoniometrische Methode 16
Thomasschlacke 62
Tellurisches Eisen 86
Thermometamorphose 141 ff.
Tiefenzonen der Metamorphose 136, 157 f.
Topische Parameter 22, 65, 72
Topochemische Wirkung 40, 114
Topotropie 22
Total instabile Phasen 14, 40
Translationen 152 f.
Trichite 124
Tröpfelmethode 108
Tutenmergelstrukturen 129

Ueberhitzung 4
Ueberkrustung 64
Ultrafiltration 114
Ultramikroskopie 25, 103, 112 f., 114 f., 120
Ultrarote Absorption 76
Ultrazentrifuge 114
Umwandlung 14 ff.
— Einfluß des Drucks 16
Umwandlungskatalysatoren 32
Umwandlungswärme 18
Ungleichgewichte 4, 13, 64, 141
Universalmethode nach Fedorow 65
Unterkühlung 4
Urlaugen in Salzlagerstätten 137

Vadose Wässer 99 f.
Vakuumkalorimeter 18
Vakuumöfen 4
Variationsbreite 150
Verbindungen in Systemen mit flüchtigen Komponenten 90
Verbrennungswärme 41
Verdrängungserscheinungen in Erzen usw. 97, 131
Verkieselung 147
Verlagerungsdiagramme 152
Verrundete Kristallformen 5, 123
Versenkungsmetamorphose 150
Verteilung der Elemente in der Erde 28 f., 79
Verwachsungen, gesetzmäßige, verschiedener Kristallarten 23, 65
Verwitterung 102, 108—112, 147
Verwitterungsringe 121
Vielstoffsysteme 27, 69 ff.
Vierstoffsysteme 26 f.
Viskosität 6 ff.
— und Druck 8
Vizinalflächen 123
Vulkanische Gase 80 f.

Wabenstruktur der Kolloidgele 115
Wachstumsanisotropie 124
Wachstumsgeschwindigkeit der Kristalle 124, 126
Wärme, spezifische 17 f., 33 f., 129, 130
Wärmeleitfähigkeit der Gesteine unter hohem Druck 139 f.
Wärmetheorem von Nernst 18, 34, 41, 43, 55, 83, 129, 142 ff.
Wasserdampfgehalt des Magmas 80 ff., 84 f.
Wassergasgleichgewicht 83
Wassergehalt der Zeolithe 105
„Wegsamkeit" im Gestein 156
Wiederwässerung der Kolloide 116
— der Zeolithe 105 ff.

Zement, hydraulischer, Abbindevorgang 120
Zementationsvorgänge 100
Zerreißvorgänge an Steinsalz 124
Zersprengung der Gesteine 109
Zerteilungsarbeit 104
Zirkulierende Laugen im Salzgebirge 136 f.
Zonarstrukturen 23, 43, 59, 64
Zusammenbacken feuchter Kristallmassen 104
Zweistoffsysteme 19, 89
„Zweiter Siederpunkt" in Magmen 88

Register der Mineralien, Gesteine und Systeme

Achat 118, 121
Actinolith 74, 102
Adinol 147
Adular 55
Aegirin 72, 147
Akanthit 95
Åkermanit 61, 64, 77, 79
Akmit 71
Alaun 126
— -stein 147
Albit 55, 58, 66ff., 78, 102, 147, 157
— -Anorthit 64f.
— -Diopsid 68f.
Algodonit 93
Alit 54
Alkaliamphibole 73ff.
— -pyroxene 71ff.
— -syenite 13
Allophantone 111, 118
Almandin 76
Alnöit 45, 61, 68, 105, 145
Alvit 47
Amphibol 60f., 64, 72—75, 150
Amphibolit 150, 158
Analcim 68, 98, 104ff., 108
— -basalt 104f.
Anatas 37, 114
Andalusit 42f., 144f.
Andesit 72
Anemousit 65
Anhydrit 127, 133f.
— -salze 121f.
Ankerit 131f.
Anorthit 54, 63f., 67f., 145
— -Nephelin (Carnegieit) 65
Anorthoklas 65f., 68
Anorthosit 13
Anthophyllit 75
Antiperthit 66
Apatit 52, 63, 80, 91, 126, 147
Apophyllit 106
Aragonit 17, 103, 126, 127 bis 129, 131
Arkosen 122
Astrakanit 136
Atatschit 54
Augit 27
— -diorit 67f.
Aventurinfeldspat 68
Axinit 147

Baddeleyit 37
Barbierit 58
Bariumfeldspat s. Celsian 67
Bastnäsit 91
Bauxit 111, 119
Biotit 75f., 98, 147
Bischofit 136, 153, 155
Bleiglanz 101
Blende s. Zinkblende 100
Boracit 16, 17, 137
Borax 137
Borolanit 55
Bröggerit 31
Bronzit 59, 72
Brookit 37
Buchit 144
Buntkupfererz 94f.

Calcit 17, 92, 99, 103, 127 bis 129, 130, 146, 148f.
— -pegmatit 149
— -syenit 149
Canadit 148
Cancrinit 77f., 148f.
Carnallit 133, 135f., 137f., 153, 155
Carnegieit 58
— -Anorthit 65
— -Kaliophilit 66f.
Celsian 67
Chabasit 106f., 116
Chalcedon 34, 118
Chilesalpeter 138
Chloanthit 92
Chloronatrokalit 91
Chrysolith 45, 61
Cipollin 146
Colemanit 137
Cordierit 53f., 144
Cristobalit 15, 32—36, 118, 145
Cummingtonit 75

Dacit 145
Dahllit 91, 120
Desmin 105ff., 108
Diabas 38, 64
Diallagit 150
Diamant 3, 14, 38—41, 43, 158
Diaspor 111
Diopsid 8, 59—61, 64, 67f., 69ff., 73, 105
— -Nephelin 68
Diopsidische Pyroxene 69
Dissogenit 149
Disthen 42f., 144
Dolomit 130f., 138, 141ff., 149

Eis 17, 37, 109, 123, 125, 151ff.
Eisen 38, 86, 146f.
— -blende 24
— -feldspat 68
— -glanz 36
— -oolithe 119
Eklogit 28, 39, 79, 157f.
Emplektit 95
Empressit 93
Enstatit 59, 60
Epidot 27, 77, 147, 149
Erdöl 138
Estrichgips 134
Eudialyt 91

Fayalit 43, 59
Feldspat s. im einzelnen Orthoklas, Albit usw.
Feuerstein 114
Flußspat 112f., 126
Forsterit 59, 60, 62, 63f.
Francolit 52
Fulgurite 34

Gabbro 157
Gadolinit 5
Gehlenit 54, 64, 77
Gips 120, 125f., 133f.
Glanzkohle 40
Glaserit 132

Glaubersalz 155
Glaukonit 122
Glimmer 24, 27, 75f., 107, 114, 156
Goethit 120
Gold 101, 122
Granat 76, 156
Graphit 12, 14, 38—42, 147
Graphitoid 39
Grauwacken 122
Griquait 157
Grossular 54, 146, 149
Grünerit 74f.

Haarsilber 93
Halbhydrat 134
Hämatit 36, 38, 68, 98
Hardystonit 64
Harmotom 106
Hedenbergit 70f.
Heulandit 105ff., 108, 127
Hisingerit 119
Holzzinn 121
Hornblende 27, 72ff., 98
— -andesit 72
Hornfels 145
Humboldtilit 77
Hyalith 118
Hyalophan 67
Hydrargillit 111, 118
Hydrophan 116, 118
Hydrotroilit 120
Hydroxyapatit 63, 80
Hypersthen 59, 119

Ilmenit 51
Ilsemannit 115
Ilvait 149

Jadeit 58, 68, 71f.
Jalpait 95
Justit 74

Kainit 133, 136, 138
Kaliägirin 59
— -natronfeldspäte 65f.
— -nephelin 56ff., 76
— -ophilit 56ff., 76
— — -Nephelin (Carnegieit) 66f.
Kalk-Cancrinit 78
— -Justit 79
— -Magnesia-Justit 79
— -Mejonit 78
— -Natron-Sarkolith 77
— -olivin (β —2 CaO . SiO_2) 44, 54, 145
— -spat s. Calcit
— -stein 141ff.
Kamazit 52
Kaolin 102, 111, 118
Kaolinit 111, 115
Karbonatapatit 63, 91, 149
— -mejonit 78
— -nosean 149
Katapleiit 91
Kieselschiefer 114
Kimberlit 28, 158
Klinoenstatit 60, 64, 70
— -hypersthen 44
Kollophan 120
Korund 36, 98, 118, 125, 144
Kryolith 150
Ktypeit 128
Kugeldiorit 141
Kupfer 37, 100, 122
— -glanz 94
— -indig 94
— -kies 119, 138
Kupfferit 73

Lamprite 11, 97
Laterit 110, 119
Lechatelierit 34
Leifit 91
Leucit 16, 55f., 58, 105
Lievrit 149
Lublinit 127
Lydit 114

Magnesit 101, 103, 131f., 138, 143f., 149, 150
Magnetit 48, 52, 84, 101, 126, 146
Magnetkies 52f., 100, 101, 138, 146
Malakon 47
Manganandalusit 144
— -wiesenerze 117
Marialith 78
Markasit 99
Maucherit 92
Mejonit 78f., 148f.
Melilith 21, 54, 61, 64, 68, 77, 79, 145, 149
— -Monticellit-Chrysolith-Alnöit 45, 105
Melnikowit 120
Merrillit 52
Metacinnabarit 99f.
Metaheulandit 127
Meteoriten 28, 38, 51, 52, 79
Mikroklin 55ff.
Mikropegmatit 57f., 102
Mikroperthit 65
Mimetisit 63
Mizzonit 78
Monticellit 45, 61, 68, 145
— -Alnöit 68, 105
Moosgold 93
— -kupfer 92
Mullit 42f., 144
Muscovit 75f.
Mylonit 154, 156
Myrmekit 65, 102

Natrolith 105f.
— schiefer 149
Natronanorthit 65
— -leucit 56, 58, 68
Neotokit 119
Nephelin 21, 57, 58, 76, 77, 105
— -Anorthit 65
— -Diopsid 68
— -Eudialytbasalt 44, 145
— -Kaliophilit 66f.
— -syenitpegmatit 36, 91
Nontronit 111
Norit 150

Obsidian 80, 82
Olivin 59, 64, 68, 75, 102
— -gabbro 38
Opal 116, 118
Ophicalcit 145
Orthoklas 55ff., 66, 67, 69, 98f., 105
Orthophyr 54
Ortstein 119
Ottrelith 156

Pandermit 137
Parisit 91
Peridotit 38, 101
Periklas 37, 144
Perthit 65f., 68
Perowskit 92, 145
Pfeifenton 140
Phacellit 56
Phosgenit 126
Phyllit 156
Pigeonit 70
Pistazit 77
Plagioklas 8, 64f., 66, 68, 69, 144
Platin 98
Plessit 52
Poechit 119
Polzenit 68, 145
Predazzit 144
Pseudoleucit 55
Pyrit 99ff., 101 119, 120, 146
Pyromorphit 63
Pyrophyllit 102

Pyroxen 22, 59ff., 64, 69 bis 72, 102
— -andesit 72

Quarz 11, 15, 16, 17, 32 bis 36, 56, 57f., 64, 90, 98, 102, 112f., 118, 126, 146, 156f.
Quarzit 145
Quarzporphyr, miarolithischer 102

Rauchquarz 17, 112
Rhabdit 53
Rhodonit 59
Rhombenfeldspäte 66
Riebeckit 72ff., 147
— -Syenit-Pegmatit 72
Rosenquarz 17, 112
Rotnickelkies 92
Rutil 37, 76, 114

Salmiak 86
Sandgesteine 144ff.
Sanidin 55ff., 127, 148
Sarkolith 77
Schreibersit 53
Schreibkreide 114
Schungit 39
Schwefel 14, 16, 85, 86, 100, 112, 120
See-Erze 119
Sericit 102, 112, 157
Serpentin 102, 112
Siderit 150
Silbererze 101
— -glanz 17, 93, 95
Sillimanit 42f., 54, 144
Silvialith 78
Skapolith 78f., 102, 147ff., 157
Skolezit 106
Sodalith 77, 112
Speiskobalt 92
Spinell 47, 54, 63f., 79, 98
Spodumen 58
Spurrit 145f.
Staßfurtit 137
Steinsalz 112f., 124, 138, 153ff.
Stromeyerit 95
Sulfatapatit 63
— -cancrinit 77
— -mejonit 78
Sylvin 132f., 138, 153
System:
Al_2O_3 36
Al_2O_3-CaO 47f.
$Al_2O_3-CaO-MgO$ 63
$Al_2O_3-Li_2O$ 48
Al_2O_3-MgO 47
$Al_2O_3-Na_2O$ 48
CO_2 17
CaO 37
$CaO-CO_2$ 2, 3, 90
$CaO-Fe_2O_3$ 51
$CaO-MgO$ 51
$CaO-P_2O_5$ 51f.
$CaO-P_2O_5-H_2O$ 63
Fe—Ni 38, 52
Fe—P 53
Fe—S 52f.
$FeO-Fe_2O_3$ 48—51
$FeO-TiO_2$ 51
Fe_2O_3 36
$Fe_2O_3-SO_3-H_2O$ 98
H_2O 37
KCl—NaCl 22, 25, 90f.
MgO 37
SiO_2 14f., 32—36
$SiO_2-Al_2O_3$ 42f.
$SiO_2-Al_2O_3-CaO$ 54f., 145
$SiO_2-Al_2O_3-CaO-MgO-Na_2O$ 67f.
$SiO_2-Al_2O_3-K_2O$ 55 bis 58
$SiO_2-Al_2O_3-K_2O-BaO$ 67
$SiO_2-Al_2O_3-K_2O-Na_2O$ 65f.
$SiO_2-Al_2O_3-Li_2O$ 58
$SiO_2-Al_2O_3-MgO$ 53f.
$SiO_2-Al_2O_3-Na_2O$ 58
SiO_2-BaO 45f.
$SiO_2-BaO-CaO$ 61f.
SiO_2-BeO 47
SiO_2-CaO 44f.
$SiO_2-CaO-Fe_2O_3$ 63
$SiO_2-CaO-Li_2O$ 62
$SiO_2-CaO-MgO$ 59 bis 61
$SiO_2-CaO-MgO-FeO$ 72
$SiO_2-CaO-Na_2O$ 6f., 9f.
$SiO_2-CaO-P_2O_5$ 62
$SiO_2-CaO-SrO$ 62
SiO_2-FeO 43f.
$SiO_2-FeO-MgO$ 59
$SiO_2-FeO-MnO$ 59
$SiO_2-Fe_2O_3-K_2O$ 59
$SiO_2-K_2SiO_3-H_2O$ 98
SiO_2-Li_2O 46f.
$SiO_2-Li_2O-ZrO_2$ 62
SiO_2-MgO 13, 44
$SiO_2-MgO-MnO$ 62
SiO_2-MnO 46
SiO_2-SrO 45f.
SiO_2-ZrO_2 47
TiO_2 37
ZrO_2 37

Tachhydrit 137
Taenit 52
Talkschiefer 149
Tephroit 46, 62
Terra rossa 119
Tinkal 137
Titanomagnetit 51
Ton 111, 115, 116, 119, 122
Tonerdeaugite 27, 72
— -hornblende 73ff.
Tonschiefer 100, 144ff.
Topas 126, 147
Tremolit 60, 73f.
Tridymit 32—36, 60, 64, 118, 145
Troilit 52f.
Turmalin 27, 76, 87, 147

Ultramarin 112

Vanadinit 63
Vaterit 127
Velardeñit 54, 64, 77
Vesuvian 148
Villaumit 91
Viridin 144
Voelckerit 63

Wasser 88
Websterit 150
Weißeisenerz 120
Whitneyit 93
Wollastonit 60, 92, 145f., 149
Wurtzit 94, 100

Xonotlit 105

Yttrofluorit 91

Zeolithe 104ff., 114f., 127, 149
Zinkblende 100, 101
Zinnober 100
Zirkon 47
Zoisit 77.

VERLAG VON THEODOR STEINKOPFF, DRESDEN UND LEIPZIG

HANDBUCH
DER
MINERALCHEMIE

Unter Mitwirkung von mehr als 60 Fachgelehrten des In- und Auslandes
mit Unterstützung der Akademie der Wissenschaften in Wien
herausgegeben von

C. DOELTER und H. LEITMEIER

VIER BÄNDE

mit zahlreichen Abbildungen, Tabellen und Kurven

Bisher (Mitte 1925) gelangten zur Ausgabe:

BAND I: Allgemeine Einleitung — Kohlenstoff — Karbonate — Silikate I.
XIV und 1008 Seiten mit 125 Abbildungen
Geh. M. 50.—, geb. M. 54.—.

BAND II, Teil 1: Silikate.
XVI und 848 Seiten mit 37 Abbildungen und 3 Tafeln.
Geh. M. 42.—, geb. M. 46.—.

BAND II, Teil 2: Silikate dreiwertiger Metalle.
XIV und 1144 Seiten mit 16 Abbildungen
Geh. M. 56.–, geb. M. 60.—.

BAND II, Teil 3: Silikate dreiwertiger Metalle.
XII und 472 Seiten mit 6 Abbildungen
Geh. M. 24.–, geb. M. 28.—.

BAND III, Teil 1: Elemente und Verbindungen von Ti, Zr, Sn, Th, Nb, Ta, N, P, As, Sb, Bi, V und H.
XXII und 965 Seiten mit 17 Abbildungen
Geh. M. 50.—, geb. M. 54.—.

Weitere Bände sind in Vorbereitung
und erscheinen in Lieferungen von je 10 Bogen = 160 Seiten.

Subskriptionspreis pro Bogen ca. M. —.75

Das Handbuch der Mineralchemie ist ein unentbehrliches und außerordentlich wichtiges Nachschlagewerk für den Mineralogen, Petrographen, und Geologen, sowie für den anorganischen und physikalischen Chemiker, Metallurgen, Berg- und Hüttenmann. — Aber auch der Techniker und Industrielle wird es mit großem Nutzen verwenden können, weil bei den verschiedenen Mineralien auch technische Artikel (zum Beispiel über: Zement, Glas, Porzellan, Ton, Ultramarin, seltene Erden, Graphit, Magnesit usw) eingehend behandelt werden.

VERLAG VON THEODOR STEINKOPFF, DRESDEN UND LEIPZIG

MINERALSYNTHETISCHES PRAKTIKUM

Eine praktische Anleitung für das Laboratorium
von Priv.-Doz. Dr. E. DITTLER

Mit einem Beitrag:
Optische Untersuchungsmethoden von Dr. H. MICHEL

150 Seiten stark, mit 56 Textfiguren. In Leinen geb. M. 7.—

Zeitschrift für praktische Geologie: Das Buch ist hervorgegangen aus der Praxis zweier hervorragender Stätten mineralogischer Forschung, nämlich der beiden Wiener Universitätsinstitute, von denen das eine unter C. Doelter stehende hauptsächlich chemischen Untersuchungen gewidmet ist, während das andere F. Becke, einen der erfolgreichsten Förderer der nicht minder wichtigen optischen Untersuchungsmethoden, zum Leiter hat . . .

ALLGEMEINE GEOLOGIE UND STRATIGRAPHIE

von Dr. A. BORN
Privatdozent an der Universität Frankfurt a. M.

X und 145 Seiten stark. Preis M. 4.–

(Wissenschaftliche Forschungsberichte Band II)

Auf dem beschränkten Raum von 145 Seiten hat der Verfasser eine bewundernswerte Fülle von Tatsächlichem in sorgfältiger Anordnung zusammengetragen. Ueber 1767 Literatur-Angaben aller wesentlicher Arbeiten der letzten zehn Jahre in drei große Gruppen eingeteilt: 1. Allgemeine Geologie (endogene und exogene Dynamik), 2. Stratigraphie und 3. regionale Geologie, denen, um die Uebersichtlichkeit nicht zu stören, getrennt ein kurzer hinweisender, verbindender, klar und kritisch gefaßter Text kapitelweise gegenübergestellt ist.

Was ein einzelner Gelehrter, dem eine umfangreiche Institutsbücherei zur Verfügung steht, leisten kann, ist in dem Buche niedergelegt. (Aus der Natur.)

FESTSCHRIFT

aus Anlaß des 70jährigen Geburtstags von CORNELIO DOELTER
Herausgegeben von H. LEITMEIER

Groß-Oktav-Format, 96 Seiten stark, mit zahlreichen Abbildungen
Preis M. 2.50

Aus dem Inhalt: F. Becke, Ueber den Monzonit. — E. Dittler, Ueber einige experimentelle Versuche zur Bildung silikatischer Nickelerze. — H. Michel, Skolezit und Metaskolezit vom Hegeberge bei Eulau westlich Bodenbach a. d. E. — H. Leitmeier und H. Hellwig, Versuche über die Entstehung von Tonerdephosphaten. — H. Tertsch, Anmerkungen zur röntgenographischen Erschließung der Kristallstruktur.

FELIX CORNU-GEDENKBUCH

BLÄTTER LIEBENDEN GEDENKENS UND VERSTEHENS

Ein Familienbuch für den Freundeskreis; mit Widmungen namhafter Zeitgenossen, naher Freunde und einer Lebensskizze von seiner Mutter nebst einer Auswahl wissenschaftlicher Arbeiten des Verewigten.

147 S. stark mit 3 Tafeln u. 1 Porträt von Felix Cornu. M. 4.—

549 E34
EITEL W PHYSIKALISCH CHEMISCHE MINERA

INSERT BOOK
MASTER CARD
FACE UP IN
FRONT SLOT
OF S.R. PUNCH

MASTER CARD

GLOBE 901144-0

SIGILLVM VNIVERSITATIS ARIZONENSIS
ESTABLISHED 1885

UNIVERSITY OF ARIZONA
LIBRARY

10595

REMOVE THIS
FROM BOOK
T. A FEE OF $1.00
BE CHARGED FOR
SS OR MUTILATION